

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



**Plano de segurança da água para abastecimento público:  
Análise de riscos associados à fonte de captação no Município  
do Barreiro**

Daniela Alexandra Viegas Baptista

**Mestrado em Geologia do Ambiente, Riscos Geológicos e Ordenamento do Território**

Dissertação orientada por:  
Professora Doutora Maria Catarina Rosalino da Silva  
Professora Doutora Maria Manuela Malhado Simões Ribeiro







---

## AGRADECIMENTOS

Esta dissertação representa o final de mais uma etapa importante, tanto a nível académico como a nível pessoal. Iniciou em contexto de pandemia provocada pela COVID-19, que condicionou de variadas maneiras o desenvolvimento desta dissertação, e terminou em contexto de guerra entre a Ucrânia e a Rússia, situações estas que instalaram o medo e ansiedade a nível mundial. Para além disso, realizar uma dissertação nestas circunstâncias e a trabalhar na área da Geologia ao mesmo tempo foi um grande desafio, e por isso, deixo aqui expressa a minha gratidão a todos os que me apoiaram e que contribuíram de alguma forma para a conclusão desta etapa.

Expresso a minha enorme gratidão à Professora Doutora Maria Catarina Silva por ter aceitado ser minha orientadora, pelas críticas ao trabalho desenvolvido, pelo seu acompanhamento, apoio, simpatia, disponibilidade e constante encorajamento ao longo deste trabalho.

Um agradecimento igualmente especial à Professora Doutora Maria Manuela Simões pela sua preciosa e cuidada orientação, sugestão do tema, críticas ao trabalho desenvolvido, cedência de dados essenciais para o desenvolvimento do trabalho, por me ter recebido de braços abertos na sua instituição, pela constante motivação, confiança, simpatia e disponibilidade em ajudar, e pela partilha seus conhecimentos e experiência profissional, sempre com ideias e pontos de vista muito interessantes e enriquecedores para o trabalho desenvolvido.

Não há palavras suficientes que expressem a minha enorme gratidão à Professora Doutora Maria do Rosário Carvalho que, apesar de não oficial, considero também como minha orientadora por toda a partilha de conhecimentos na área da modelação, pela ajuda, simpatia e apoio incansável ao longo desta dissertação, sempre disponível para me ajudar a ultrapassar os diversos obstáculos que apareceram durante a modelação, mesmo fora do seu horário de trabalho, e a quem devo especial gosto pela hidrogeologia, em especial, ao estudo da vulnerabilidade de aquíferos.

À Câmara Municipal do Barreiro, Divisão de Águas e Saneamento do Departamento de Águas e Resíduos, agradeço a cedência de dados essenciais para o desenvolvimento desta dissertação. Agradeço ao Engenheiro David Cabanas que me recebeu na Câmara Municipal do Barreiro e disponibilizou a documentação necessária para o trabalho, mostrando-se sempre muito prestável.

Ao Parque Empresarial Baía do Tejo, agradeço pela cedência de dados essenciais para o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço à Engenheira Carla e Engenheiro Miguel que me receberam nas suas instalações e disponibilizaram a documentação necessária para o trabalho.

Expresso a minha gratidão ao Mestre Joel Zeferino pela sua prontidão na cedência de dados e por toda a ajuda no início deste trabalho.

Ao Quim quero agradecer por me ter dado os conhecimentos básicos para trabalhar com o software AutoCAD, conhecimentos esses essenciais para desenhar os perfis geológicos e a correspondência entre unidades litológicas e unidades hidrogeológicas.

Muito obrigada a todos os Professores do Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa que contribuíram para a minha formação académica.

Os amigos são a família que escolhemos, e eu tenho os melhores sempre ao meu lado, tanto a nível pessoal como a nível académico. Foram os meus companheiros de vida académica, sempre disponíveis para me ajudar com os seus conhecimentos, proporcionaram-me muitos momentos que nunca esquecerei, apoiando-me e motivando-me incondicionalmente. Um mega agradecimento a todos eles pela vossa amizade, são muito importantes na minha vida: Daniel, Diogo, Adão, Marta, Zé, Irina, Vasco, Daniela Sousa e Mic.

Estou eternamente grata aos meus pais, avós e irmãos por todo o carinho, apoio, compreensão e paciência que tiveram ao longo de toda a minha vida académica, por todo o esforço que fizeram para

---

---

me dar a melhor formação, e por todos os valores e ensinamentos transmitidos, que fizeram de mim a pessoa que sou hoje.

---

## RESUMO

Os serviços de abastecimento público de água às populações e de saneamento das águas residuais urbanas e de gestão dos resíduos urbanos têm uma importância fundamental na resiliência das sociedades, devendo ser de boa qualidade e distribuídos de forma generalizada em todo o território.

O sistema aquífero Tejo-Sado/Margem Esquerda está sujeito a fenómenos de intrusão salina devido à proximidade ao estuário do Tejo, densidade e sobreposição de captações públicas e privadas. No município do Barreiro, o aquífero corresponde a um sistema multicamada complexo, constituído por um aquífero superficial livre, um semiconfinado separado por um aquífero confinado mais profundo, pouco conhecido, separado por um aquífero confinado. A exploração de água destinada ao abastecimento público no Barreiro incide essencialmente no aquífero semiconfinado, pois o aquífero livre está em conexão hidráulica com o estuário, apresentando salinização e, conseqüentemente, água de má qualidade. Assim, para cumprir com as elevadas exigências de qualidade da água para abastecimento público, é necessário avaliar a vulnerabilidade do sistema na zona de captação e a drenância do aquífero confinado, de modo a perceber se o aquífero semiconfinado se encontra protegido por este.

A área de estudo foi caracterizada em termos geológicos e hidrogeológicos com base em recolha bibliográfica, compilação e interpretação de dados geológicos e hidrogeológicos de relatórios de pesquisa e captação de água, provenientes das entidades CMB, GPEP, base de dados do SNIRH, Parque Empresarial Baía do Tejo e LNEG. Isso permitiu elaborar um modelo geológico e hidrogeológico conceptual de funcionamento hidráulico, essencial para a construção do modelo de fluxo subterrâneo em regime estacionário e transitório, recorrendo ao MODFLOW, contido no programa PROCESSING MODFLOW na versão 5.3.

A modelação do fluxo subterrâneo em regime estacionário e transitório, nas condições de exploração vigentes, mostra que a carga hidráulica do aquífero semiconfinado é inferior à do livre, com escoamento descendente, invertido em relação ao que aconteceria em equilíbrio, evidenciando alterações no regime de exploração por sobreexploração ou sobreposição do efeito de extração de captações próximas. Este desequilíbrio exerce uma forte pressão no aquífero semiconfinado, e o facto da zona de chamada das captações aumentar no tempo e no espaço de forma diferente permite a mistura de água de diferentes proveniências, principalmente do aquífero superior livre com o aquífero semiconfinado por drenância do aquífero confinado, alterando a composição da água.

A análise química à concentração do ião cloreto na água do aquífero semiconfinado permitiu também verificar que existem duas zonas de entrada de água com concentração elevada de cloreto problemáticas, alertando para uma possível vulnerabilidade do sistema aquífero associada à frente estuarina e às ribeiras associadas à mesma, podendo ocorrer fenómenos de intrusão salina em que o aquífero confinado alimenta o aquífero semiconfinado por drenância sempre que este é solicitado.

**Palavras-chave:** Sistema Aquífero Tejo-Sado/Margem Esquerda; Barreiro; Vulnerabilidade; Intrusão salina; Modelação numérica com MODFLOW.

---

---

---



---

## ABSTRACT

Public water supply services to the population and sanitation of urban wastewater and urban waste management are of fundamental importance for the resilience of societies and should be of good quality and distributed throughout the territory.

The Tejo-Sado/Left Bank aquifer system is subject to saltwater intrusion phenomena due to its proximity to the Tagus estuary, density and overlapping of public and private catchments. In the municipality of Barreiro the aquifer corresponds to a complex multilayer system consisting of a free surface aquifer, a semi-confined aquifer separated by an aquitard and a deeper confined aquifer (poorly known) separated by an aquiclude. The exploitation of water for public supply in Barreiro focuses mainly on the semi-confined aquifer, since the free aquifer is in hydraulic connection with the estuary, presenting salinization and consequently poor quality water. Thus, to meet the high quality requirements of water for public supply it is necessary to assess the vulnerability of the system in the catchment area and the drainage of the aquitard in order to understand whether the semi-confined aquifer is protected by it.

The study area was characterised in geological and hydrogeological terms based on bibliographic collection, compilation and interpretation of geological and hydrogeological data from research and water abstraction reports from CMB, GPEP, SNIRH database, Baía do Tejo Business Park and LNEG. This allowed the elaboration of a conceptual geological and hydrogeological model of the hydraulic functioning, essential for the construction of the underground flow model in steady and transient regime, using MODFLOW, contained in the PROCESSING MODFLOW program in version 5.3.

The modeling of subsurface flow in steady and transient regimes under current operating conditions, shows that the hydraulic load of the semiconfined aquifer is lower than that of the free aquifer with downward flow, reversed in relation to what would happen in equilibrium, showing changes in the exploitation regime by overexploitation or overlapping the effect of extraction from nearby catchments. This imbalance exerts a strong pressure on the semi-confined aquifer and the fact that the call zone of the catchments increases in time and space in a different way allows the mixing of water from different origins mainly from the upper free aquifer with the semi-confined aquifer by aquitard drainage, changing the composition of the water.

The chemical analysis of the concentration of chloride ion in the water of the semi-confined aquifer also allowed to verify that there are two areas of water entry with high chloride concentration problematic, warning of a possible vulnerability of the aquifer system associated with the estuarine front and the streams associated with it, which may occur phenomena of saline intrusion in which the aquitard feeds the semi-confined aquifer by drainage whenever it is requested.

**Keywords:** Aquifer System Tejo-Sado/Left Bank; Barreiro; Vulnerability; Saline Intrusion; Numerical Modelling with MODFLOW.

---

---

---

---

# ÍNDICE

<b>1. Introdução.....</b>	<b>1</b>
1.1. Enquadramento do Tema.....	1
1.2. Problemática e Objetivos do Estudo.....	2
1.3. Organização da Dissertação .....	3
<b>2. Caracterização da Área de Estudo .....</b>	<b>5</b>
2.1. Enquadramento Geográfico.....	5
2.2. Enquadramento Geológico .....	6
2.2.1. Geomorfologia e Litoestratigrafia .....	6
2.2.2. Tectónica e Neotectónica .....	10
2.3. Enquadramento Hidrológico e Hidrogeológico.....	10
2.3.1. Estuário do Tejo .....	11
2.3.2. Bacias Hidrográficas .....	14
2.3.3. Sistema aquífero do Tejo-Sado/Margem Esquerda.....	15
2.4. Enquadramento Climático .....	17
2.5. Enquadramento Legal: Qualidade da Água Destinada ao Consumo Humano .....	19
<b>3. Metodologia de Trabalho.....</b>	<b>25</b>
<b>4. Fundamentos Teóricos .....</b>	<b>27</b>
4.1. Aquíferos Costeiros: Contaminação por Intrusão Salina .....	27
4.2. Modelação Matemática .....	30
<b>5. Dados Recolhidos.....</b>	<b>33</b>
5.1. Dados da CMB .....	33
5.2. Base de Dados do GPEP .....	34
5.3. Base de Dados do SNIRH .....	35
5.4. Dados do Parque Empresarial Baía do Tejo.....	36
5.5. Base de Dados do LNEG.....	37
<b>6. Análise Hidroquímica: Cloretos.....</b>	<b>39</b>
<b>7. Modelo Geológico .....</b>	<b>45</b>
<b>8. Modelação Matemática .....</b>	<b>53</b>
8.1. Modelo Hidrogeológico Conceptual .....	53
8.1.1. Unidades Hidrogeológicas.....	53
8.1.2. Condutividade Hidráulica e Transmissividade.....	55
8.1.3. Funcionamento Hidráulico .....	58
8.2. Modelo Numérico de Fluxo Subterrâneo .....	59

---

---

8.2.1.	Construção do Modelo de Fluxo Subterrâneo .....	60
8.2.2.	Calibração do Modelo de Fluxo Subterrâneo .....	66
8.3.	Modelo de Transporte de Massa.....	68
8.3.1.	Construção do Modelo de Transporte de Massa .....	68
8.4.	Resultados da Modelação Matemática .....	70
<b>9.</b>	<b>Conclusões e Recomendações Futuras.....</b>	<b>75</b>
<b>10.</b>	<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>79</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>.....</b>	<b>87</b>

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Evolução do indicador, água segura, entre 1993 e 2019, em Portugal Continental, e distribuição geográfica por concelhos no ano de 2020 (MARTINS <i>et al.</i> , 2020).....	2
Figura 2.1: Localização geográfica do município do Barreiro (imagem de base disponibilizada pelo serviço <i>Imagery</i> do software ArcGIS).....	5
Figura 2.2: Enquadramento cartográfico do município do Barreiro, adaptado de <a href="https://www.igeoe.pt/index.php?id=186&amp;p=1&amp;escala=1&amp;distrito=15&amp;concelho=221">https://www.igeoe.pt/index.php?id=186&amp;p=1&amp;escala=1&amp;distrito=15&amp;concelho=221</a> .....	5
Figura 2.3: Enquadramento geológico da Bacia do Baixo Tejo/Margem esquerda, com base na Carta Geológica de Portugal à escala 1:500000, WMS - Web Map Services.....	6
Figura 2.4: Enquadramento geológico da área em estudo e das formações miocénicas mais relevantes para o trabalho, pertencentes ao flanco Norte da Serra da Arrábida, nas folhas 34-D e 38-B da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000.....	7
Figura 2.5: Malha de elementos finitos do modelo hidrodinâmico do Tejo e batimetria da área montante do estuário do Tejo (adaptado de GUERREIRO <i>et al.</i> , 2015) e cartografia da zona intertidal do estuário do Tejo (adaptado de NOGUEIRA MENDES <i>et al.</i> , 2012 <i>in</i> MORFEED, 2013).....	11
Figura 2.6: Representação esquemática dos principais domínios no estuário do Tejo (adaptado de Freire, 1999, <i>in</i> Hidroprojecto, 2007). .....	12
Figura 2.7: Linhas de água afluentes ao estuário (adaptado do Atlas do Ambiente, <a href="http://www.iambiente.pt/atlas/est/index.jsp">www.iambiente.pt/atlas/est/index.jsp</a> , <i>in</i> MOREIRA, 2015). .....	12
Figura 2.8: Resultados da Modelação Operacional para distribuição de Temperatura (esquerda) e Salinidade (direita) ( <a href="http://www.apambiente.pt/index.php?ref=x77">http://www.apambiente.pt/index.php?ref=x77</a> , <i>in</i> ZEFERINO, 2016). .....	13
Figura 2.9: Enquadramento das bacias integradas na área de estudo, relativamente à BHT (adaptado de SÉCIO, 2012). .....	14
Figura 2.10: Unidades hidrogeológicas de Portugal Continental e enquadramento hidrogeológico do sistema aquífero do Tejo/Margem esquerda.....	16
Figura 2.11: Representação esquemática tridimensional do sistema aquífero mio-pliocénico do Tejo e Sado (PNUD, 1980). .....	16
Figura 2.12: Modelo hidrogeológico conceptual de fluxo do Sistema Aquífero Tejo-Sado/Margem esquerda, resultante das observações de níveis piezométricos na parte central da Bacia do Tejo e Sado e na fase inicial da exploração do sistema aquífero (MENDONÇA, 2007).....	17
Figura 2.13: Modelo de cálculo do balanço hídrico segundo o método de Thornthwaite-Mather e valores de precipitação anual, mínima e máxima, em condições normais, em anos húmidos e secos para a estação meteorológica do Lavradio (E166), entre 1961 e 1990 (adaptado de ARH TEJO, 2010, <i>in</i> ZEFERINO, 2016).....	18
Figura 2.14: Precipitação anual na Península de Setúbal (dados provenientes do Atlas do Ambiente).18	
Figura 4.1: A - Posição da interface água doce/água salgada em equilíbrio hidrostático; B - Posição da interface água doce/água salgada considerando a descarga das águas subterrâneas (adaptado de FREEZE & CHERRY, 1979). .....	27
Figura 4.2: A - Aquífero livre costeiro em condições naturais de descarga de água subterrânea; B - Intrusão passiva de água salgada (adaptado de FETTER, 1994). .....	28
Figura 4.3: A - Intrusão ativa de água salgada num aquífero confinado com a superfície piezométrica abaixo do nível do mar; B - Intrusão ativa de água salgada num aquífero livre a afetar um furo de extração (adaptado de FETTER, 1994). .....	29
Figura 4.4: Representação esquemática de uma barreira hidráulica positiva gerada pela injeção artificial de água para limitar o avanço da intrusão salina em zonas costeiras (adaptado de JOHNSON, 2007, <i>in</i> ZEFERINO, 2016). .....	29

Figura 5.1: Localização dos pontos de água das entidades CMB, SNIRH, Baía do Tejo, LNEG e GPEP, recolhidos para o estudo. ....	33
Figura 5.2: Localização das captações da Câmara Municipal do Barreiro para abastecimento público e respetivos perímetros de proteção alargados (PerProt_Alargado), delimitados em 2013 (RA2 foi instalada em 2017, não estando englobada nos perímetros).....	34
Figura 5.3: Localização da sondagem fornecida pelo GPEP.....	34
Figura 5.4: Localização dos pontos de água selecionados neste estudo, pertencentes à rede de monitorização nacional ou de vigilância de qualidade e quantidade do SNIRH.....	35
Figura 5.5: Evolução dos níveis piezométricos no aquífero superior livre entre 2000 e 2020 no piezómetro (442/241) e comparação do nível piezométrico médio durante o período de 1999/2000 a 2018/19 com o ano hidrológico de 2020/21.....	35
Figura 5.6: Evolução da concentração de cloreto, em mg/l, nos furos 442/412, 442/536 (entre 2000 e 2018) e 443/48 (entre 2001 e 2010), com as respetivas retas de tendência.....	36
Figura 5.7: Localização das captações para abastecimento do Parque Empresarial Baía do Tejo.....	36
Figura 5.8: Localização das sondagens da base de dados do LNEG utilizadas neste estudo.....	37
Figura 6.1: Gráfico Box-Plot representativo da concentração de cloreto em cada captação, sendo que as representadas a azul pertencem à Câmara Municipal do Barreiro e as representadas a laranja ao Parque Empresarial Baía do Tejo.....	40
Figura 6.2: Distribuição da concentração de cloreto (mg/l) relativamente à profundidade de captação, em que o gráfico a) representa a mediana e o b) a média.....	40
Figura 6.3: Representação da concentração de cloretos (mg/l) e respetivas retas de tendência em cada captação do município do Barreiro ao longo do tempo, entre 2012 e 2020.....	41
Figura 6.4: Distribuição espacial da concentração de cloretos (mg/l) no município do Barreiro considerando os dois cenários, interpolada com a mediana de cloretos em cada captação pelo método Inverso da Distância, recorrendo ao software ArcGIS 10.7.1.....	42
Figura 7.1: Localização dos perfis geológicos e sondagens utilizadas na caracterização geológica da área em estudo.....	45
Figura 7.2: Perfil geológico A: desde o rio Coina aos baixios do estuário na Moita, atravessando a zona sul do PEB.....	46
Figura 7.3: Perfil geológico B.....	47
Figura 7.4: Perfil geológico C.....	48
Figura 7.5: Perfil geológico D.....	49
Figura 7.6: Perfil geológico E: desde o estuário do Tejo até ao flanco norte da Serra da Arrábida.....	50
Figura 7.7: Representação da superfície basal do pliocénico, elaborada a partir de pontos cotados e da interpretação de sondagens de pesquisa e captação de água subterrânea. Interpolação através do método krigagem, recorrendo ao software ArcGIS 10.7.1.....	52
Figura 8.1: Correlação entre as unidades geológicas e hidrogeológicas, concebida com recurso ao software de desenho AutoCAD.....	53
Figura 8.2: Representação das unidades hidrogeológicas e do funcionamento hidráulico entre o estuário do Tejo e a Serra da Arrábida.....	58
Figura 8.3: Representação gráfica do nível hidrostático em função do tempo e da profundidade das captações.....	59
Figura 8.4: Delimitação da área modelada.....	60
Figura 8.5: Imagem no formato compatível com o MODFLOW (BMP), o respetivo sistema de coordenadas e a malha computacional.....	61
Figura 8.6: Representação, em 3D, da profundidade das unidades hidrogeológicas interpoladas.....	61

---

Figura 8.7: Condições de fronteira impostas para o modelo de fluxo, sendo que as células a branco correspondem à condição de nível piezométrico imposto, as azuis às de fluxo imposto e as cinzentas às de transferência. a) aquífero livre e aquífero confinado; b) aquífero livre e aquífero confinado. ....	63
Figura 8.8: Condições iniciais impostas para o modelo de fluxo. a) aquífero livre e aquífero confinado; b) aquífero confinado. ....	64
Figura 8.9: Condutividade hidráulica horizontal do aquífero livre (a) e aquífero confinado (b) e transmissividade do aquífero confinado (c) impostas para o modelo de fluxo. ....	65
Figura 8.10: Recarga imposta para o modelo de fluxo. ....	66
Figura 8.11: Correlação entre os níveis hidrodinâmicos observados e descritos nos relatórios da CMB e Parque Empresarial Baía do Tejo e os simulados com os caudais de extração ajustados. ....	67
Figura 8.12: Condições de fronteira de massa impostas para o modelo de transporte de massa, sendo que as células a branco correspondem às de concentração ativas, as laranja às de concentração constante, e as cinzentas às de concentração inativa. a) aquífero livre e aquífero confinado; b) aquífero confinado. ....	69
Figura 8.13: Simulação do fluxo subterrâneo em regime estacionário. a) Aquífero superior livre; b) Aquífero confinado; c) Aquífero confinado. ....	70
Figura 8.14 a) b) c): Simulação do fluxo subterrâneo em regime transitório, para o horizonte temporal 2021 e 2022. a) Aquífero superior livre; b) Aquífero confinado; c) Aquífero confinado. ....	72
Figura 8.15 a) b) c): Simulação do fluxo subterrâneo em regime transitório, para o horizonte temporal 2030 e 2040. a) Aquífero superior livre; b) Aquífero confinado; c) Aquífero confinado. ....	73

---

---



---

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1: Comparação dos valores paramétricos estabelecidos nos três decretos-lei para os parâmetros microbiológicos.....	20
Tabela 2.2: Comparação dos valores paramétricos estabelecidos nos três decretos-lei para os parâmetros indicadores. ....	20
Tabela 2.3: Comparação dos valores paramétricos estabelecidos nos três decretos-lei para os parâmetros químicos. ....	21
Tabela 2.4: Concentrações derivadas de radioatividade na água. ....	22
Tabela 2.5: Comparação dos valores paramétricos estabelecidos nos três decretos-lei para os parâmetros radiológicos $\alpha$ -total e $\beta$ -total. ....	22
Tabela 6.1: Tabela representativa da concentração de cloreto máxima, mínima, média, mediana e da dispersão nas captações destinadas ao abastecimento público do município do Barreiro, entre 2012 e 2020.....	39
Tabela 8.1: Classificação quantitativa para a condutividade hidráulica, em função da litologia, obtida através das curvas de Breddin. ....	55
Tabela 8.2: Condutividades hidráulicas obtidas para o aquífero livre e aquífero na área de estudo. ..	56
Tabela 8.3: Transmissividades obtidas para o aquífero semiconfinado no sistema aquífero, através do método de Hantush – Jacob, segundo a relação de transmissividade e caudal específico de FIALHO (2009). ....	57
Tabela 8.4: Caudais de extração para o ano de 2020, convertidos para m <sup>3</sup> /dia, inseridos no modelo de fluxo. ....	62
Tabela 8.5: Transmissividades mais representativas do aquífero semiconfinado, através do método de Hantush – Jacob, segundo a relação de transmissividade e caudal específico de FIALHO (2009). ....	64
Tabela 8.6: Caudais de extração ( $Q_e$ ) fornecidos pela CMB e Parque Empresarial Baía do Tejo e respetivos valores ajustados para calibração do modelo de fluxo. Estimação do volume captado, não contabilizado, noutros furos situados na área modelada cujo efeito se observa no cone de rebaixamento do nível piezométrico do sistema aquífero no local de estudo. ....	67

---

---

---

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AC	A. Cavaco
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
ARH	Administração da Região Hidrográfica
ASAE	Autoridade de Segurança Alimentar e Económica
ASCII	American Standard Code for Information
BHT	Bacia Hidrográfica do Tejo
BMP	Bitmap
CI	Controlo de Inspeção
CMB	Câmara Municipal do Barreiro
CR1	Controlo de Rotina 1
CR2	Controlo de Rotina 2
CUF	Companhia União Fabril
E	Este
EG	Entidades Gestoras
ERSAR	Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos
FR	Furágua
GPEP	Gabinete para a Pesquisa e Exploração de Petróleo
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
MDT	Modelo Digital de Terreno
MODFLOW	Modular Finite Difference Flow Model
MT3D	Groundwater Mass Transport Modeling
N	Norte
NE	Nordeste
NHD	Nível Hidrodinâmico
NHE	Nível Hidrostático
OMS	Organização Mundial de Saúde
PCQA	Programa de Controlo da Qualidade da Água
PE	Ponto de Entrega
PEB	Parque Empresarial do Barreiro
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
RA	Renato Azenha
RH5	Região Hidrográfica do Tejo e Ribeiras do Oeste
SNIRH	Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos
SW	Sudoeste
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
TIFF	Tagged Image File Format
UE	União Europeia
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
UNT	Unidades Nefelométricas de Turbidez
USGS	United States Geological Survey
VMA	Valores Máximos Admitidos
VMR	Valores Máximos Recomendados
VP	Valor Paramétrico
W	Oeste
Aq.	Aquífero

---

---

S	Rebaixamento (m)
Q <sub>a</sub>	Caudal de extração ajustado para calibração do modelo
Q <sub>e</sub>	Caudal de extração (l/s)
Q <sub>s</sub>	Caudal específico (l/s/m)
K	Condutividade hidráulica (m/dia)
R <sup>2</sup>	Índice de Correlação
T	Transmissividade (m <sup>2</sup> /dia)
μg	Micrograma
μS	Microsiemens
Bq	Becquerel
cm	Centímetros
g	Gramma
h	Hora
hm	Hectómetro
km	Quilómetro
l	Litro
m	Metro
mg	Miligramma
ml	Mililitro
mSv	Milisievert
°C	Graus Celsius
s	Segundo

---

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Enquadramento do Tema

A água é um recurso natural essencial à vida, de extrema importância socioeconómica, e fundamental para o desenvolvimento das sociedades modernas. Contudo, somente 3% da água do planeta é utilizável pelo Homem no consumo humano, na indústria e agricultura. Desta reduzida percentagem, 22% é de origem subterrânea. Se destas reservas excluirmos a água doce armazenada nas calotes polares e nos glaciares, a água doce disponível reduz-se para 1,7%, ou seja, 24,2 milhões de km<sup>3</sup> (UNESCO, 1978, *in* MIDÕES & FERNANDES, s.d.). Em algumas zonas do globo, a água subterrânea constitui a principal ou única fonte de água potável devendo, por isso, ser protegida e utilizada com parcimónia. A utilização racional e sustentável é fundamental para satisfação plena da geração atual sem comprometer as gerações vindouras.

Os serviços de abastecimento público de água às populações, de saneamento das águas residuais urbanas e de gestão dos resíduos urbanos, têm uma importância fundamental na sociedade. Um país desenvolvido deve dispor destes serviços, com qualidade, de forma generalizada em todo o território (MARTINS *et al.*, 2019). O crescimento demográfico, o desenvolvimento industrial, a pressão turística e os fenómenos de aglomeração urbana, principalmente na faixa litoral, têm contribuído para o aumento constante da procura de água doce para os diversos usos, abastecimento público, indústria e agricultura, provocando desequilíbrios nos sistemas naturais, regionais e locais. A sobreexploração de aquíferos e o consequente aumento da vulnerabilidade de aquíferos costeiros, próximos de estuários, induz o avanço da cunha salina como é o caso do sistema aquífero do Tejo-Sado/Margem esquerda.

LOBO FERREIRA & CABRAL (1991) designaram vulnerabilidade como “*sensibilidade da qualidade das águas subterrâneas a uma carga poluente, função apenas das características intrínsecas do aquífero*”, abrangendo o tipo de contaminante, a perceção de que determinadas áreas são mais suscetíveis à contaminação do que outras, tendo em conta o grau de eficácia dos processos de atenuação natural, que podem variar drasticamente de uma zona para outra, e o contexto geológico onde ocorre ou poderá ocorrer a contaminação (RIBEIRO, 2005, *in* CMB, 2013). Em zonas urbanas, como o Município do Barreiro, a vulnerabilidade de aquíferos pouco profundos à poluição é bastante elevada, contudo, o facto de grande parte dos furos captar água a mais de 200 m de profundidade, da Câmara Municipal do Barreiro ser munida de uma rede de saneamento, de existirem camadas argilosas até às zonas captadas e de os furos estarem isolados até cerca dos 200 m, resulta num risco de contaminação mais reduzido (CMB, 2013).

O indicador água segura corresponde à percentagem de água controlada e de boa qualidade, obtém-se através do produto da percentagem de cumprimento da frequência de amostragem com a percentagem de cumprimento dos valores paramétricos fixados na legislação, dos parâmetros sujeitos a controlo de rotina 1 (CR1), controlo de rotina 2 (CR2) e controlo de inspeção (CI), tal como definido no Anexo II do Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de agosto, com as alterações introduzidas pelo Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro. Em Portugal, o indicador, água segura, tem evoluído de forma bastante positiva, verificando-se claramente melhorias no controlo de qualidade da água, sobretudo na última década, podendo assegurar-se que, atualmente, a maioria dos concelhos do país exibe uma percentagem de água segura igual ou superior a 99 %, valor este considerado como o patamar de excelência para a qualidade da água destinada ao consumo humano, enquanto que, em 1993, seria de 50% (Figura 1.1). Contudo, a maioria dos incumprimentos associados às características naturais da água registaram-se no valor do pH (MARTINS *et al.*, 2019).

---

# 1. INTRODUÇÃO

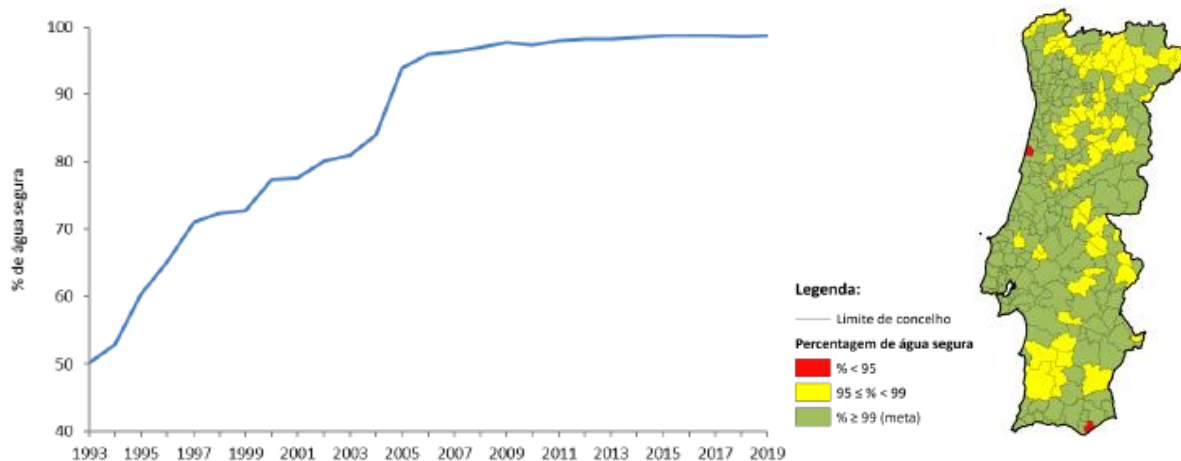


Figura 1.1: Evolução do indicador, água segura, entre 1993 e 2019, em Portugal Continental, e distribuição geográfica por concelhos no ano de 2020 (MARTINS *et al.*, 2020).

Os planos de segurança da água têm sido promovidos pela Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR) junto das entidades gestoras como um complemento à verificação de conformidade legal da qualidade da água na torneira. É uma ferramenta preventiva, baseada na avaliação e gestão do risco, efetuada sistematicamente ao longo do sistema de abastecimento de água, desde a captação de água bruta, passando pelo processo de tratamento, pela rede de distribuição e rede predial até à torneira do consumidor, garantindo que a qualidade da água fornecida é sempre boa de modo a proteger a saúde pública, a curto, médio e longo prazo (<http://www.ersar.pt/pt/o-que-fazemos/controlo-da-qualidade-da-agua>).

## 1.2. Problemática e Objetivos do Estudo

O sistema aquífero do Tejo-Sado é o maior do território nacional, ocupa uma área aproximada de 9500 km<sup>2</sup> e representa a principal fonte de abastecimento urbano, industrial e agrícola para os residentes na área da sua abrangência. Os municípios situados na península de Setúbal dependem em exclusividade deste recurso, tal como acontece com o do Barreiro, logo, é necessário conhecer o sistema aquífero para garantir a sustentabilidade do mesmo.

A água para consumo público distribuída pela Câmara Municipal do Barreiro é de excelente qualidade, com um indicador de água segura de 99,86 % em 2019. A melhoria da sua qualidade ao longo dos anos está relacionada com o rigoroso controlo, conhecimento do sistema de abastecimento de água, e com o aumento da exigência na aplicação da legislação pela ERSAR, Câmara Municipal do Barreiro Delegação de Saúde e Laboratório de análises de água (CMB, 2019). A exploração subterrânea de água é realizada maioritariamente em formações da base do Pliocénico e do topo do Miocénico do sistema aquífero do Tejo-Sado/Margem esquerda, sendo que 45% correspondem a captações públicas municipais e os restantes 55% a entidades empresariais localizadas no Parque Empresarial do Barreiro (PEB), cujas indústrias e resíduos depositados contribuíram para a contaminação de solos e aquíferos nesse local (ZEFERINO, 2016).

Na primeira metade do século passado observava-se artesianismo positivo ou repuxante na maioria dos furos na Península de Setúbal, sobretudo nos mais profundos a captarem no Miocénico. Contudo, desde meados da década de 60, verifica-se um rebaixamento crescente nos níveis piezométricos devido à sobreexploração de água para abastecimento público, alterando o equilíbrio hidrodinâmico do sistema, com maiores consequências nas zonas litorais da Península, provocando a

---

migração de água salobra e transporte de sais para o interior do sistema aquífero nas regiões do Seixal, Barreiro e Moita (ALMEIDA *et al.*, 2000).

A proximidade ao estuário do Tejo e a elevada vulnerabilidade do sistema aquífero captado, conjugadas com as elevadas exigências na qualidade da água para abastecimento público, justificam e estão na base do desenvolvimento desta dissertação de mestrado, que tem como objetivo perceber a vulnerabilidade do sistema na zona de captação, face à aproximação ao estuário, densidade e sobreposição de captações públicas e privadas, no desenvolvimento de fenómenos de intrusão salina, bastante comprometedores da longevidade das captações e da preservação da qualidade da água captada, confrontando as condições de exploração do sistema aquífero Tejo-Sado/Margem Esquerda no município do Barreiro com as exigências de qualidade da água de abastecimento público vigentes na legislação e com os planos de segurança da água.

A modelação hidrogeológica do sistema através de modelos numéricos para simulação de cenários atuais e futuros permitem validar um modelo conceptual hidrogeológico do funcionamento hidráulico do sistema aquífero, simular o escoamento subterrâneo e o transporte de contaminantes, possibilitando o conhecimento do aquífero semiconfinado, e, sabendo a geometria e os parâmetros hidráulicos do aquífero, será possível estudar a sua drenância e perceber se o aquífero semiconfinado se encontra protegido pelo aquífero.

### 1.3. Organização da Dissertação

A presente dissertação está organizada em nove capítulos, referências bibliográficas e anexos. O primeiro capítulo corresponde à introdução, abordando o enquadramento do tema, problemática e objetivo do estudo e organização desta dissertação. O segundo capítulo diz respeito à caracterização da área de estudo com base na recolha bibliográfica sobre o estado atual do conhecimento do Sistema Aquífero do Tejo-Sado/Margem Esquerda na região em estudo, análise da legislação aplicada à qualidade da água para abastecimento público e sobre planos de segurança da água. Isto inclui o enquadramento geográfico; o geológico, subdividido em geomorfologia e litoestratigrafia e tectónica e neotectónica; o hidrogeológico, subdividido em estuário do Tejo, bacias hidrográficas e sistema aquífero do Tejo/Margem esquerda; o climático e o legal. O terceiro capítulo engloba a metodologia de trabalho utilizada. O quarto capítulo aborda conceitos teóricos acerca de aquíferos costeiros e a contaminação destes por intrusão salina, de modelação de fluxo subterrâneo com o *software* MODFLOW e de modelação de transporte de massa com o *software* MT3D. O quinto capítulo é relativo aos dados recolhidos, que engloba dados de exploração e das captações de água para abastecimento público das entidades Câmara Municipal do Barreiro (CMB), do SNIRH, do Parque Empresarial Baía do Tejo e do LNEG, e uma sondagem de pesquisa de petróleo da base de dados do GPEP. O sexto capítulo é referente à análise hidroquímica das águas subterrâneas captadas pela Câmara Municipal do Barreiro e pelo Parque Empresarial Baía do Tejo, com foco na concentração de cloreto. O sétimo capítulo engloba a interpretação de dados litológicos, essencialmente através de perfis geológicos. O oitavo capítulo corresponde à modelação matemática, subdividida em modelo hidrogeológico conceptual, modelo numérico de fluxo subterrâneo, modelo de transporte de massa e resultados da modelação matemática. No modelo hidrogeológico conceptual constam as unidades hidrogeológicas, condutividade hidráulica e transmissividade, e funcionamento hidráulico; no modelo numérico de fluxo subterrâneo consta a sua construção e calibração e no modelo de transporte de massa consta a sua construção. O nono capítulo foca-se nas conclusões e recomendações futuras no âmbito desta temática.

---

## 1. INTRODUÇÃO

---



## 2. CARATERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 2.1. Enquadramento Geográfico

A área em estudo localiza-se em Portugal Continental, no distrito de Setúbal, na margem esquerda do rio Tejo, no concelho do Barreiro (Figura 2.1). A área total do concelho é de 36,41 km<sup>2</sup>, possui 78764 habitantes, de acordo com os Censos de 2011, e é constituído por três uniões de freguesias (Alto do Seixalinho, Santo André e Verderena; Barreiro e Lavradio; e Palhais e Coina) e pela freguesia de Santo António da Charneca (Lei n.º 11-A/2013 de 28 de janeiro). É delimitada a norte pelas águas estuarinas do Tejo, a oeste por um dos baixios do estuário marginado pelo concelho do Seixal, a leste pelo concelho da Moita e a sul pelos concelhos de Palmela, Setúbal e Sesimbra (ZEFERINO, 2016).



Figura 2.1: Localização geográfica do município do Barreiro (imagem de base disponibilizada pelo serviço Imagery do software ArcGIS).

Cartograficamente, encontra-se representado na Carta Militar de Portugal, do Instituto Geográfico do Exército, na escala 1:50000, folha 34-II, e na escala 1:25000, folhas 431 – Lisboa, 432 – Montijo, 442 – Barreiro e 443 – Moita (Figura 2.2), e na Carta Geológica de Portugal na escala 1:50.000, folha 34-D.

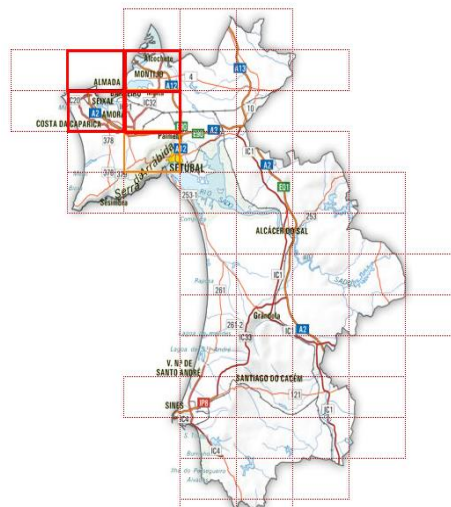


Figura 2.2: Enquadramento cartográfico do município do Barreiro, adaptado de <https://www.igoe.pt/index.php?id=186&p=1&escala=1&distrito=15&concelho=221>.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Município do Barreiro pertence à Área Metropolitana de Lisboa, estando ligado a Lisboa pelas pontes 25 de Abril e Vasco da Gama, situa-se a cerca de 40 km de distância por via rodoviária e a 6 km por via fluvial. A proximidade a Lisboa e a Setúbal, a capital de distrito (a cerca de 35 km de distância pela A2), propicia fenómenos de aglomeração urbana, caraterísticos de regiões metropolitanas (<https://www.cm-barreiro.pt/pages/611>). O Concelho do Barreiro apresentou um rápido crescimento demográfico até ao final da década de setenta e, desde aí, registou um crescimento moderado, com uma pequena regressão demográfica a partir dos anos oitenta (<https://www.cm-barreiro.pt/pages/611>).

### 2.2. Enquadramento Geológico

#### 2.2.1. Geomorfologia e Litoestratigrafia

A Bacia Cenozóica do Tejo e do Sado é uma unidade tectono-sedimentar regional, correspondendo a uma depressão tectónica alongada na direção NE-SW, que se desenvolveu sobre o soco varisco e/ou formações mesozóicas da margem oriental da Bacia Lusitânica durante o Cenozóico, em particular no Neogénico (MONIZ, 2010). A área em estudo insere-se na Bacia Cenozóica do Tejo e do Sado, mais especificamente na subunidade Bacia Terciária do Baixo Tejo (Figura 2.3), limitada a oeste e norte pelas formações mesozóicas da Orla Ocidental, a nordeste e leste pelo substrato hercínico e a sul pelo Oceano Atlântico na zona da Península de Setúbal (PAIS, 2004). A origem da bacia coincide com o ciclo orogénico alpino, que gerou um grande afundimento de materiais localizados entre falhas, posteriormente preenchidos por sedimentos de zonas próximas. A evolução da bacia ao longo do tempo foi controlada pela interação entre movimentos tectónicos e eustáticos (RIBEIRO *et al.*, 1979). Na zona terminal da bacia do Baixo Tejo, que corresponde ao estuário, ocorreram alternâncias de ambientes deposicionais com ciclos de períodos transgressivos e regressivos (ANTUNES *et al.*, 1999).

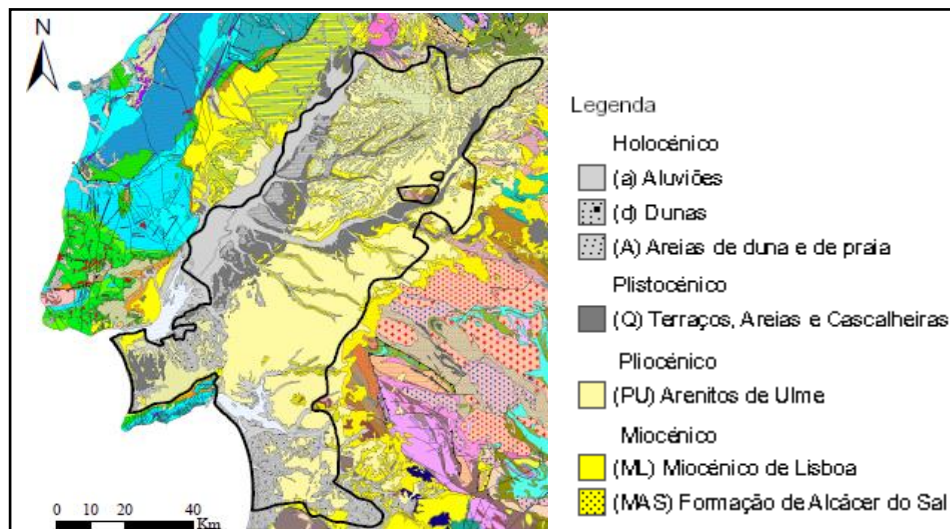


Figura 2.3: Enquadramento geológico da Bacia do Baixo Tejo/Margem esquerda, com base na Carta Geológica de Portugal à escala 1:500000, WMS - Web Map Services.

A subsidência foi crucial na evolução geomorfológica desta unidade e pode estar ativa na atualidade, sendo compensada por forte sedimentação. O enchimento da bacia é composto por depósitos de idade paleogénica e neogénica, cobertos por formações de idade quaternária em quase toda a sua extensão. Os depósitos de idade paleogénica são essencialmente de origem continental, constituídos por arcoses, depósitos conglomeráticos, arenitos arcósicos, argilitos e calcários margosos. Os depósitos de idade neogénica são caracterizados pela alternância de fácies continental, marinha e salobra, em ciclos de deposição (seis ciclos no Miocénico e um no Pliocénico) (ANTUNES *et al.*, 1999). O Miocénico é marcado pela alternância de depósitos continentais e marinhos, caraterísticos de uma extensa planície

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

aluvial aberta ao Oceano, entre as serras de Sintra e da Arrábida (PAIS *et al.*, 2012), dando origem a ambientes de transição fluvio-marinhos, com predominância de fácies marinhas em zonas próximas do estuário do Tejo, existindo uma alternância entre camadas argilosas e arenosas no topo, e prevalecendo os arenitos e margas na base (ANTUNES *et al.*, 1999). Os sedimentos provêm, essencialmente, do continente: sedimentos detríticos, transportados pelos rios ou resultantes da precipitação simples, ou por ação biológica de componentes arrastados do continente para o mar (SIMÕES, 1998). COTTER (1956) desenvolveu estudos importantes na litoestratigrafia, nomeadamente no Miocénico marinho de Lisboa, composto pela alternância de argilas, calcarenitos e areias, e, com base em critérios litoestratigráficos, considerou VII divisões para esta sequência, divisões essas ainda úteis na atualidade. ANTUNES (1971) relacionou a série miocénica com ciclos sedimentares enquadrados por uma transgressão e pela regressão seguinte (SIMÕES, 1998). Os depósitos de idade pliocénica são de origem fluvial, compostos quase unicamente por areias com intercalações lenticulares de argilas, constituindo uma espessa série, na sua maioria arenosa, que na zona de Pinhal Novo ultrapassa os 300 m (ALMEIDA *et al.*, 2000). A sedimentação no Quaternário corresponde a depósitos de terraço e de aluviões, de origem fluvial, com eventuais depósitos continentais sobrepostos da Formação de Marco Furado (PAIS *et al.*, 2006).

As unidades estratigráficas aflorantes na área de estudo, assim como as formações do Miocénico que são intersectadas em profundidade foram descritas com base na notícia explicativa da Folha 34-D Lisboa (PAIS *et al.*, 2006) da Carta Geológica de Portugal, na escala 1:50000, do mais recente para o mais antigo. A descrição das unidades estratigráficas que afloram no flanco Norte da Serra da Arrábida e que são relevantes para o estudo tomou como base a notícia explicativa da Folha 38-B Setúbal (MANUPPELLA *et al.*, 1999) da Carta Geológica de Portugal, na escala 1:50000, devido à incompatibilidade na nomenclatura e nas descrições litológicas entre as duas cartas (Figura 2.4).

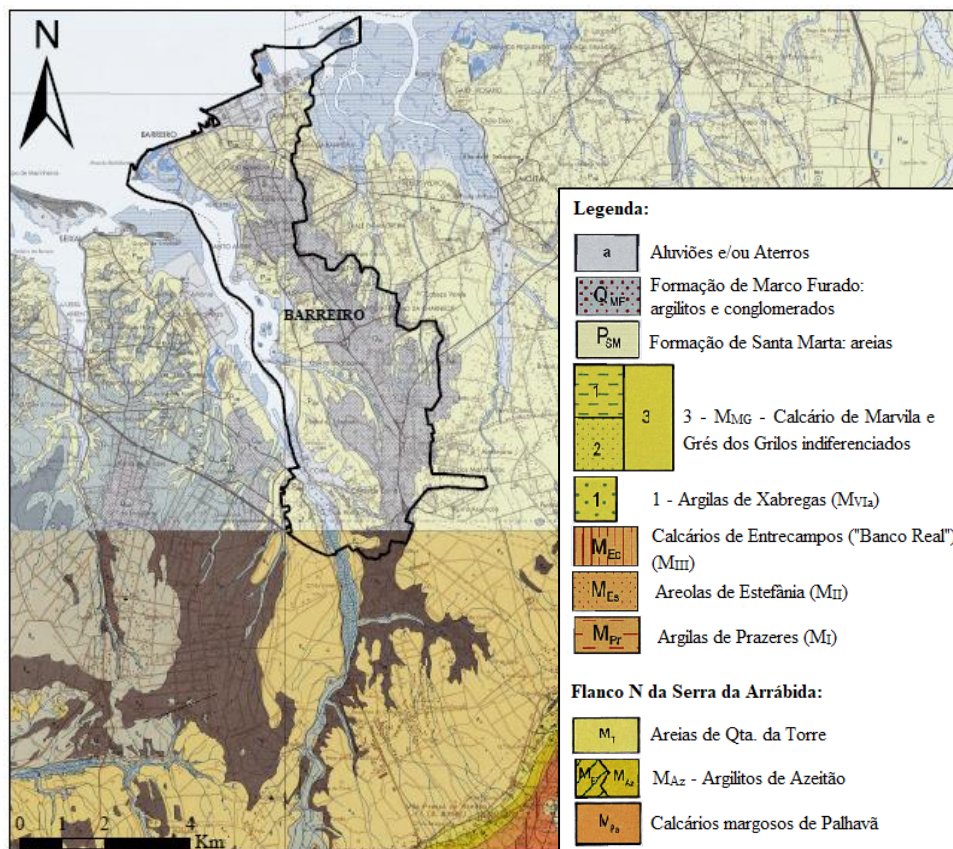


Figura 2.4: Enquadramento geológico da área em estudo e das formações miocénicas mais relevantes para o trabalho, pertencentes ao flanco Norte da Serra da Arrábida, nas folhas 34-D e 38-B da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

---

### Holocénico

#### a: Aluviões e/ou materiais de aterro

Estes depósitos modernos estão associados à rede hidrográfica do rio Tejo, transportando e depositando esses materiais aluviais com elevada componente argilosa em áreas de descarga (ALMEIDA *et al.*, 2000). Esta unidade estratigráfica ocupa o fundo de vales largos e pouco profundos, tendo uma espessura muito variável. As sondagens efetuadas no leito do Tejo indicam espessuras de 58 m, aproximadamente, para as aluviões.

### Plistocénico

#### Q<sub>MF</sub>: Formação de Marco Furado

Consiste numa unidade conglomerática vermelha de matriz arenoargilosa, com espessura compreendida entre 30 e 40 m. Para oeste da ribeira de Coina, assenta sobre o conglomerado de Belverde, enquanto que, para este, e na presente área de estudo, assenta sobre as areias de Santa Marta. Esta unidade traduz o último episódio de deposição no sinclinal de Albufeira. Posteriormente, apenas se acumularam areias eólicas.

### Pliocénico

#### P<sub>SM</sub>: Formação de Santa Marta

As areias de Santa Marta estão largamente representadas na Península de Setúbal e constituem a mais importante unidade deste estudo. Na base desta formação ocorrem conglomerados pouco espessos e descontínuos, seguidos de areias finas a grosseiras quase sempre arcólicas, frequentemente com estratificação entrecruzada e/ou estruturas convolutas, fluviais, com cores que variam desde branco (areias de Coina) a vermelho e amarelo. No seio das areias ocorrem blocos isolados de arenitos cretácicos e nódulos de sílex. A espessura desta unidade varia entre cerca de 320 m no Pinhal Novo, e 50 m, no máximo, na faixa litoral. A fração argilosa contém caulinite e ilite, sendo que a montmorilonite ocorre nos níveisossilíferos e nos mais argilosos (CARVALHO, 1968; AZEVEDO, 1983). Na sondagem de Belverde, entre 10 m e 130 m de profundidade, ocorrem areias médias a finas, de cor alaranjada.

### Miocénico

#### M<sub>MG</sub>: Calcários de Marvila e Grés dos Grilos indiferenciados

Na margem esquerda do Tejo, os Calcários de Marvila e os Grés dos Grilos são difíceis de individualizar, e por isso, são considerados em conjunto, sendo constituídos por arenitos finos e biocalcarenitos amarelados com bastantes fragmentos de equinídeos de que se destaca *Schizaster scillae*. Na sondagem de Belverde, esta unidade encontra-se entre os 238 m e 209 m de profundidade, em que, na parte inferior, é constituída por arenitos finos micáceos, e para o topo, por siltitos muito micáceos de cor cinzenta esverdeada.

#### M<sub>XA</sub>: Argilas azuis de Xabregas (M<sub>Vla</sub>.)

Consistem num conjunto silto-argiloso, por vezes com areias finas, de cor cinzenta azulada, e geralmente são muito ricos em moluscos, em foraminíferos e ostracodos. Representam os sedimentos de ambientes mais profundos do Neogénico da Bacia do Baixo Tejo e a maior transgressão do Miocénico. Na sondagem de Belverde, entre os 238 m e 272 m de profundidade, ocorrem siltitos argilosos micáceos, cinzento esverdeados, com intercalações de biocalcarenitos.

---

### M<sub>Ec</sub> - Calcários de Entrecampos ("Banco Real") (M<sub>III</sub>)

Os Calcários de Entrecampos são constituídos por biocalcarenitos com fração detrítica abundante, por vezes argilosos, ricos em moldes e/ou de fragmentos de moluscos, e no topo, passa a areias muito finas e a siltitos argilosos de cor cinzenta. Na margem esquerda do Tejo, afloram entre Cacilhas e a Trafaria, ligeiramente acima do nível de maré alta do rio Tejo, com uma espessura de 10 m, aproximadamente. Na sondagem de Belverde, encontram-se entre os 457 m e os 469 m, constituídos por biocalcarenitos cinzento esverdeados com fragmentos de corais e abundantes moluscos, por norma, bastante fragmentados. Assentam em desconformidade sobre as Areolas de Avenida da Estefânia (M<sub>II</sub>) (ANTUNES *et al.*, 2000).

### M<sub>Es</sub> - Areolas de Avenida da Estefânia (M<sub>II</sub>)

As Areolas de Avenida da Estefânia consistem numa única sequência deposicional inclinadas para SE, assentam por desconformidade sobre as Camadas de Prazeres, e são compostas por biocalcarenitos no topo, passando a areias finas, areias argilosas, argilitos e alguns bancos de biocalcarenitos. Na Península de Setúbal afloram junto ao rio Tejo, desde um pouco a Oeste de Cacilhas até a Trataria. Esta unidade está representada em várias sondagens nos concelhos de Almada e Seixal, e na de Belverde ocorre entre os 469 m e os 533 m, constituída por conglomerados médios, muito fossilíferos na base, que passam a arenitos finos a médios e a argilitos e, novamente, a arenitos com intercalações de biocalcarenitos, de cor maioritariamente cinzenta esverdeada (PAIS *et al.*, 2003).

### M<sub>Pr</sub> - Camadas de Prazeres (M<sub>I</sub>)

As Camadas de Prazeres são predominantemente constituída por argilas e margas de lagunas litorais. Lateralmente, existem níveis carbonosos com vegetais (PAIS, 1981; 1986) e gesso, que compõem a fauna de mamíferos de Horta das Tripas. Na margem esquerda do Tejo, esta unidade foi detetada em sondagens na região de Palença e em Belverde. Em Palença, ocorre entre os 18 e os 96 m abaixo do nível do Tejo, e é composta por arenitos finos, argilosos, micáceos acinzentados com níveis lignitosos e, na base, por bancos de calcários com fragmentos de corais (PAIS, 1981). Em Belverde, entre 533 m e 587 m de profundidade, ocorrem conglomerados finos de clastos siliciosos que passam superiormente a arenitos, a biocalcarenitos e a calcários margosos com corais (PAIS *et al.*, 2003).

## **Miocénico – Flanco norte da Serra da Arrábida**

### M<sub>T</sub> - Areias de Quinta da Torre

Consistem em níveis de biocalcarenitos que passam a areias finas, micáceas, brancas, bem expostas na Quinta da Torre.

### M<sub>Az</sub> - Argilitos e margas de Azeitão

Afloram em banda contínua entre Vila Nogueira de Azeitão e Palmela, e na Quinta da Torre são constituídos por bancos de biocalcarenitos e de ostras intercalados por níveis argila-margosos. ZBYSZEWSKI *et al.* (1965) atribuíram estes depósitos ao "M<sup>1-2</sup>- Complexo burdigaliano inferior e aquitaniano", que correspondem a níveis que abrangem o Burdigaliano II e III, e M<sup>2IV</sup>- Burdigaliano superior.

### M<sub>Pa</sub> - Calcários margosos de Palhavã

Aflora entre Venda Nova e Palmela, na crista sul das Serras de S. Francisco e do Louro, com cotas de 200 m de altitude, aproximadamente. ZBYSZEWSKI *et al.* (1965) descrevem cortes que atribuíram ao Aquitaniano I e incluíram no "M<sup>1-2</sup>- Complexo burdigaliano inferior e aquitaniano" pela presença de *Miogyssina aff. borneensis* Tan e de *M. aff. globulina* Michelotti ou *M. aff. Cushmani* Vaughan (AZEREDO & CARVALHO, 1986). Esta unidade pode ser relacionada com os níveis com

---

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

---

*Venus ribeiroi* da divisão I de COTTER, definida para a região de Lisboa, podendo estes corresponder em parte a recifes-barreira.

### 2.2.2. Tectónica e Neotectónica

A Bacia do Baixo Tejo é interpretada como uma bacia ante-país gerada num regime compressivo que provocou a inversão tectónica da Bacia Lusitânica, situada a W, devido à convergência da placa africana com a euroasiática. As formações que preenchem a bacia apresentam-se sub-horizontais a ligeiramente inclinadas, perturbadas por alguns acidentes tectónicos principais (RIBEIRO *et al.*, 1979; KULLBERG *et al.*, 2000).

Na Bacia do Baixo Tejo, predomina essencialmente a tectónica frágil, com falhas orientadas preferencialmente nas direções NE - SW a E - W (PAIS *et al.*, 2012). Entre Alcochete e Setúbal, destaca-se uma estrutura em “graben” de direção N-S, associada a uma estrutura diapírica profunda na zona do Pinhal Novo, responsável pela depressão alongada na direção NE-SW, situada a su-sudoeste do Pinhal Novo e a noroeste de Palmela, que se refere a uma deformação em sinforma de idade terciária. Na zona do Seixal, Barreiro e Moita, os depósitos paleogénicos assentam sobre as formações do Cretácico inferior, que desaparecem para leste, passando os sedimentos terciários a assentar sobre formações jurássicas com várias idades. A base das formações terciárias aprofunda-se ligeiramente até ao meridiano da Moita, elevando-se depois até à zona da falha do Pinhal Novo (PAIS *et al.*, 2006).

Os depósitos pliocénicos fluviais assentam sobre os sedimentos miocénicos numa descontinuidade erosiva, demonstrando uma mudança na evolução da bacia com a interrupção da tendência subsidente no período em que se depositaram as unidades do Miocénico e Pliocénico. No flanco norte da Cadeia Orogénica da Arrábida, os depósitos não apresentam deformação, assentando em discordância sobre os sedimentos miocénicos inclinados para norte. Na região da Península de Setúbal, a deposição de toda a série arenosa pliocénica está relacionada com a reativação da subsidência nesta área da bacia e com o controlo tectónico por parte de algumas estruturas principais (PAIS *et al.*, 2006).

No quaternário ocorreu uma passagem da agração pliocénica a erosão fluvial, associada a um encaixe da rede de drenagem em consequência de uma descida relativa do nível do mar por levantamento regional do continente, a que se sobrepueram os efeitos de oscilações glacio-eustáticas (PAIS *et al.*, 2006).

A região do Baixo Tejo é tectonicamente ativa, como evidenciam os eventos sísmicos históricos (1531, 1755, 1909 e 1969) relacionados com estruturas profundas, nomeadamente a falha do “Gargalo do Tejo”, com uma orientação provável de N30°E, que se encontra coberta por aluviões e outros depósitos modernos, não sendo fácil de reconhecer (CABRAL, 1995).

### 2.3. Enquadramento Hidrológico e Hidrogeológico

A área de estudo está integrada na Região Hidrográfica do Tejo e Ribeiras do Oeste (RH5), região hidrográfica essa internacional, com uma área total em território português de 30502 km<sup>2</sup>, que inclui a Bacia Hidrográfica do Tejo (BHT) e ribeiras adjacentes, as bacias hidrográficas das Ribeiras do Oeste, as respetivas águas subterrâneas e águas costeiras adjacentes, de acordo com o Decreto-Lei n.º 347/2007, de 19 de outubro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 117/2015, de 23 de junho. O município do Barreiro corresponde praticamente a uma península, com frente ribeirinha a oeste e norte, sendo que a leste existe uma faixa de território pertencente à Moita que separa o Barreiro da frente ribeirinha. Assim, a área de trabalho está enquadrada entre o estuário a norte, o rio Coina a oeste, o rio da Moita a leste, e, a sul, por um afluente do rio Coina, designado por rio Lagos.

### 2.3.1. Estuário do Tejo

O estuário do Tejo, com uma área entre 300 e 340 km<sup>2</sup>, em função do nível da maré (CAÇADOR *et al.*, 1996) e um volume de 1887 hm<sup>3</sup> (FREIRE, 1999), é considerado o maior da Península Ibérica e um dos maiores da Europa. Situa-se na costa ocidental portuguesa, estabelecendo a transição entre o rio Tejo e o Oceano Atlântico, e fica próximo da maior área metropolitana do país. O estuário estende-se desde o canal da embocadura até Vila Franca de Xira (cerca de 50 km a montante) onde alcança águas salobras, embora a influência das marés se faça sentir até Muge, a 80 km da foz (Figura 2.5) (FERNANDES, 2005).

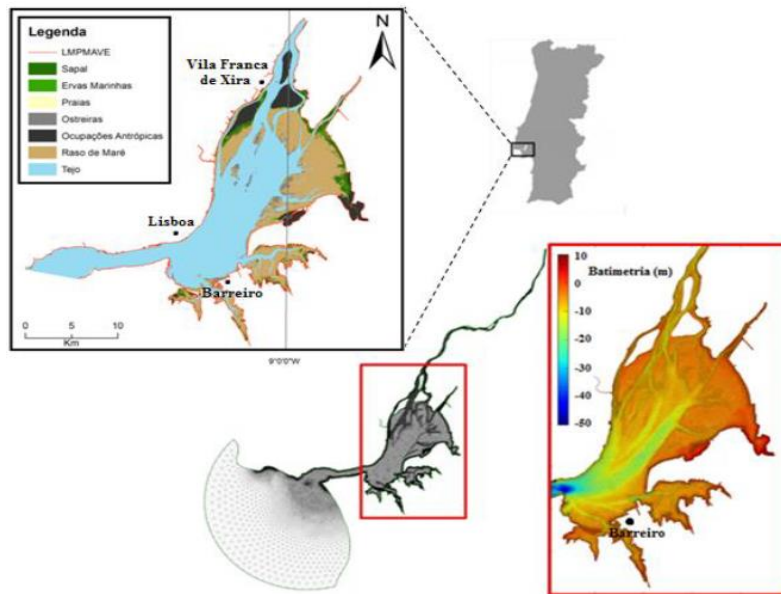


Figura 2.5: Malha de elementos finitos do modelo hidrodinâmico do Tejo e batimetria da área montante do estuário do Tejo (adaptado de GUERREIRO *et al.*, 2015) e cartografia da zona intertidal do estuário do Tejo (adaptado de NOGUEIRA MENDES *et al.*, 2012 in MORFEED, 2013).

A sua morfologia apresenta variações bastante significativas, em consequência de ser um estuário de origem tectónica, com alterações bruscas na sua geometria, consoante a classificação de PRITCHARD (1952), e assim, pode ser subdividido nas seguintes unidades fisiográficas (FREIRE, 1999): Zona Fluvio-Marítima; Zona Interior; Canal de Embocadura e Embocadura (Figura 2.6).

A Zona Fluvio-Marítima localiza-se mais a montante, entre Vila Franca de Xira e Muge, numa extensão de 30 km, é influenciada pela descarga fluvial, e em condições hidrológicas médias ainda se verificam os efeitos da propagação da maré, sem influência salina (BETTENCOURT *et al.*, 2003).

A Zona Interior, geralmente pouco profunda, situa-se entre Vila de Franca de Xira e a transversal Cacilhas – Cais do Sodré, e corresponde a 48% da área total do estuário. Nesta zona ocorrem acumulações longitudinais cortadas por canais de maré, e extensas zonas espraçadas que proporcionam o desenvolvimento de importantes áreas de sapal. Na margem esquerda desenvolve-se uma bacia designada por “Mar da Palha”, caracterizada por enseadas nas zonas do Montijo, Barreiro e Seixal, formadas em zonas terminais de afluentes, com importante sedimentação vasosa e diversas praias e restingas arenosas limitadas por extensos rasos de maré areno-vasosos (MOREIRA, 2015).

O Canal de Embocadura, que corresponde ao estrangulamento do estuário a partir da linha Cacilhas – Cais do Sodré até à transversal Cova do Vapor – Paço de Arcos, é constituído por um canal estreito, profundo e retilíneo, que liga a bacia interior ao domínio externo do estuário, exibindo características marinhas, sendo controlado tectonicamente (BETTENCOURT *et al.*, 2003). Este atua

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

como uma barreira natural ao impedir a entrada das ondas oceânicas para o interior do estuário (TABORDA *et al.*, 2009).

A Embocadura desenvolve-se desde a transversal Cova do Vapor – Paço de Arcos até ao limite jusante do estuário, alargando a jusante de São Julião – Cova do Vapor e diminuindo de profundidade em direção ao cone de dejeção submerso. A zona de embocadura é semelhante a um delta de vazante, com um canal principal de vazante ao centro navegável (Canal da Barra Sul ou Grande) e canais de enchente laterais (Canal da Barra Norte e Golada), em consequência da interação das ondas e das correntes de maré nessa zona (MOREIRA, 2015).

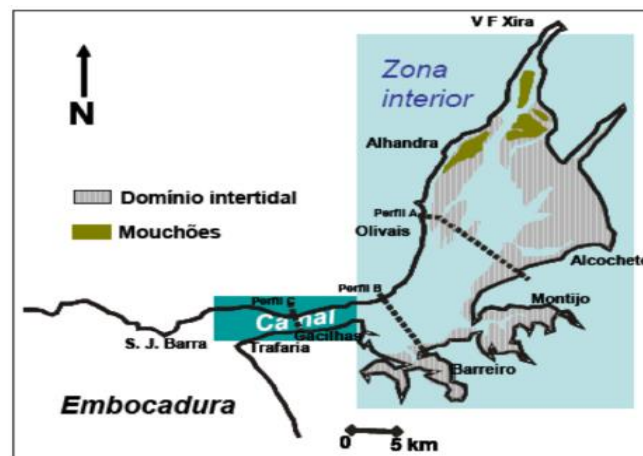


Figura 2.6: Representação esquemática dos principais domínios no estuário do Tejo (adaptado de Freire, 1999, *in* Hidroprojecto, 2007).

Os principais afluentes do estuário consistem nos rios Tejo, Sorraia e Trancão (Figura 2.7), no entanto, a fonte predominante de descarga de água doce no estuário é o rio Tejo, com valores de descarga entre os 80 e 720 m<sup>3</sup>/s (LOUREIRO, 1979 *in* GAMEIRO, 2009), e um caudal médio de 368 m<sup>3</sup>/s (NEVES, 2010). O tempo de permanência da água doce no estuário varia bastante, entre 6 e 65 dias, aproximadamente (MARTINS *et al.*, 1984 *in* BROGUEIRA & CABEÇADAS, 2006), e as correntes de maré podem atingir um valor máximo de 2 m/s na área terminal e 1,2 m/s na área intermédia (GAMEIRO, 2009).



Figura 2.7: Linhas de água afluentes ao estuário (adaptado do Atlas do Ambiente, [www.iambiente.pt/atlas/est/index.jsp](http://www.iambiente.pt/atlas/est/index.jsp), *in* MOREIRA, 2015).



## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estuário do Tejo é do tipo lagunar, sendo o seu hidrodinamismo essencialmente controlado pela propagação da maré oceânica, e em menor escala pela descarga fluvial e pelas ondas de geração local (TABORDA *et al.*, 2009). Junto à embocadura, a água do estuário é renovada a partir da água próxima da costa, que entra no estuário pelo fundo durante a enchente, mistura-se com a água do estuário, e sai depois na vazante seguinte. Os baixos gradientes de salinidade que se verificam nesta zona estão relacionados com a mistura de águas, pelo que, o estuário pode ser classificado de verticalmente misturado durante as marés vivas ou parcialmente estratificado durante as marés mortas ou após chuvas abundantes (CÂMARA *et al.*, 1987 *in* GAMEIRO, 2009; VALE & SUNDBY, 1987 *in* GAMEIRO, 2009). A salinidade segue um padrão sazonal, em que os valores de salinidade são menores durante a estação húmida e de maior descarga fluvial (ZEFERINO, 2016), e o gradiente longitudinal de salinidade é mais elevado na parte superior e central do estuário (Figura 2.8).

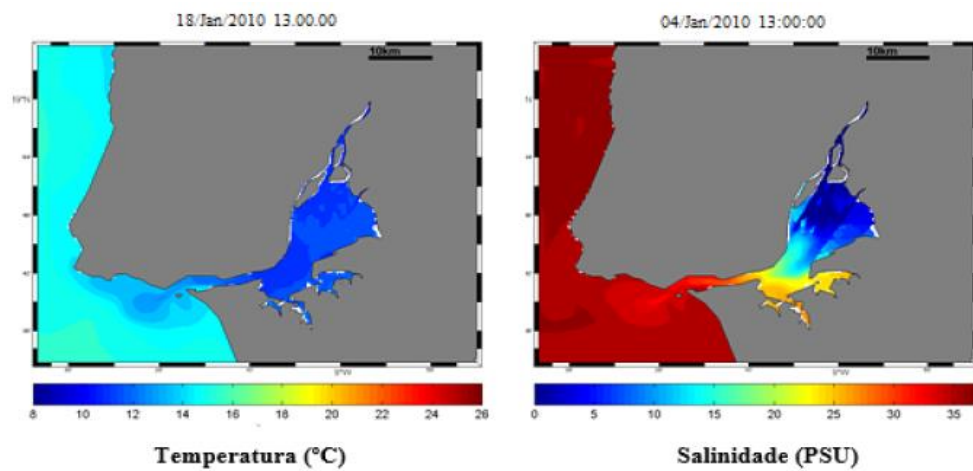


Figura 2.8: Resultados da Modelação Operacional para distribuição de Temperatura (esquerda) e Salinidade (direita) (<http://www.apambiente.pt/index.php?ref=x77>, *in* ZEFERINO, 2016).

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 2.3.2. Bacias Hidrográficas

O município do Barreiro integra parte de 12 bacias hidrográficas bastante heterogêneas, nomeadamente, Rio Coina; Vala das Sete Fontes; Vala de Vale Grou; Vala de Alhos Vedros; Ribeira de Vale de Zebro; Vala de Palhais / Vale Romão; Vala dos Casquilhos; Vala da Telha; Valas Urbanas 1, 2 e 3; e Vala das Ratas (Figura 2.9). Estas ocupam o terço central da península de Setúbal numa área total de 180 km<sup>2</sup> (apenas 26,9 km<sup>2</sup> pertencem ao concelho do Barreiro), e estendem-se pelos concelhos da Moita, Palmela, Seixal, Sesimbra e Setúbal (SÉCIO, 2012).

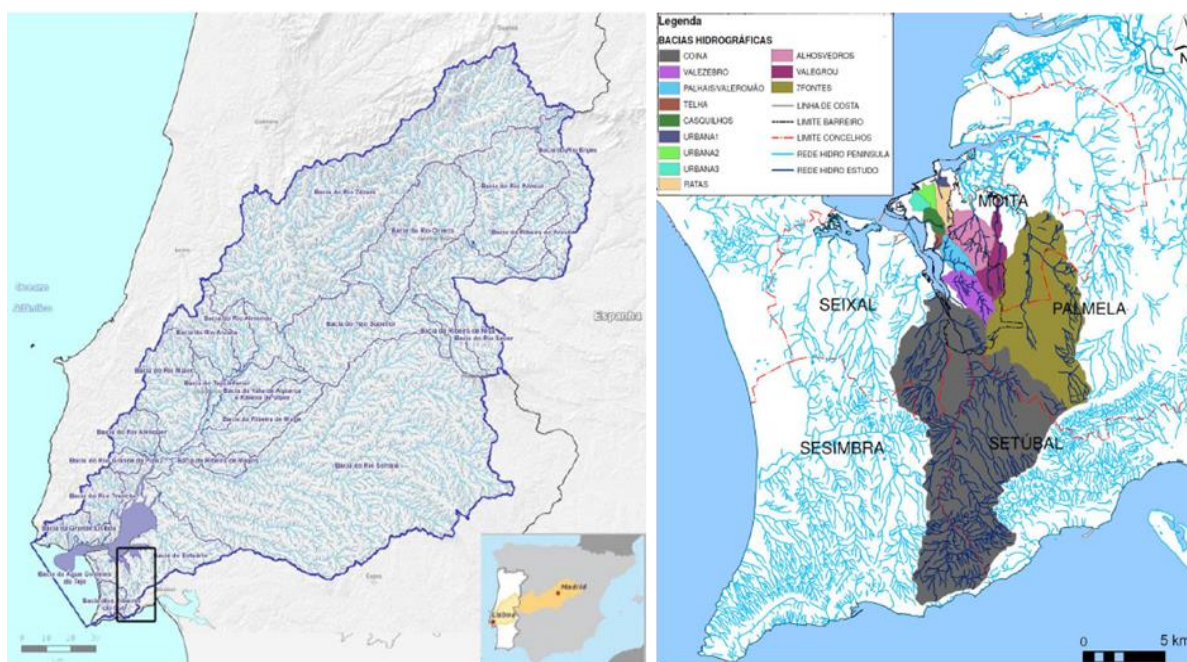


Figura 2.9: Enquadramento das bacias integradas na área de estudo, relativamente à BHT (adaptado de SÉCIO, 2012).

O efeito orográfico na precipitação e o declive elevado na Cadeia da Arrábida, com conseqüente incremento da velocidade de escoamento da água, potencia a entrada de água nas cabeceiras do Rio Coina e Vala das Sete Fontes. As restantes bacias de menores dimensões, com áreas inferiores a 4 km<sup>2</sup>, apresentam escoamento organizado incipiente, drenando para as frentes ribeirinhas que penetram na Península de Setúbal, nomeadamente no Barreiro e Moita, e no extremo norte do concelho drenam diretamente para o estuário (SÉCIO, 2012), contudo, estas são frequentemente interrompidas em zonas de forte ocupação antropogénica (ZEFERINO, 2016).

A Vala Real, que adota a designação de rio Coina quando se aproxima dessa localidade, trata-se da linha de água mais importante da Península de Setúbal, sendo considerada por MANUPELLA *et al.* (1999) como o eixo de drenagem da península, atravessando-a praticamente de Sul para Norte nos municípios do Barreiro, Sesimbra e Setúbal, com uma extensão de 25 km, aproximadamente, possui margens com 20 m de largura, contadas a partir da linha que limita o leito das águas (Lei da Água, 2005), e desagua no estuário do Tejo, próximo do Barreiro. Esta linha de água pode estar a ser alimentada permanentemente pela nascente de Fonte de Negreiros, que drena as águas que se infiltram na Serra da Arrábida, e está associada não só ao contacto litológico entre as formações do Paleogénico (pouco permeáveis) e as do Miocénico (mais permeáveis), mas também à ocorrência de falhas em Vila Nogueira de Azeitão que se prolongam até à Serra da Arrábida. Segundo SÉCIO (2012), a bacia do rio Coina é a de maior dimensão na área de estudo, com uma área de 105 km<sup>2</sup>, em que grande parte está fora do concelho do Barreiro, apresenta uma forma alongada, indicando uma capacidade de drenagem progressiva e uniforme, e, a distribuição das altitudes pela área da bacia está dividida em três patamares,

---

sendo que cerca de 35% estão abaixo de 50 m, 30% entre 50 e 100 m, e 35 % acima de 100 m. Apesar de o rio sofrer processos de degradação, SÉCIO (2012) analisou o uso do solo ao longo do perfil longitudinal e fez observações de campo, concluindo que as áreas urbanizadas na área de influência do curso de água principal são raras e que o uso agrícola, apesar de presente, não é intensivo.

A área de estudo integra também a bacia de outro eixo drenante importante, a Vala das Sete Fontes, com uma área de 46 km<sup>2</sup>, em que cerca de 40% está acima da cota 50 m, e atravessa os municípios do Barreiro, Moita e Palmela. O curso de água principal desta bacia é o rio da Moita, com cabeceira na Serra da Arrábida, mais precisamente na Serra de São Francisco, mantém o mesmo gradiente ao longo de todo o percurso, e corresponde ao curso de água em meio rural mais alterado por ação humana (SÉCIO, 2012).

### 2.3.3. Sistema aquífero do Tejo-Sado/Margem Esquerda

Portugal Continental está dividido em quatro grandes unidades morfoestruturais: Maciço Antigo; Orla Mesocenozóica Ocidental; Orla Mesocenozóica Meridional; e Bacia Terciária do Tejo-Sado.

Os sistemas aquíferos do Tejo, margem esquerda, margem direita e aluviões do Tejo, constituem a unidade hidrogeológica mais importante do país (Figura 2.10). O rio Tejo situa-se num importante acidente geológico, a falha do “Gargalo do Tejo”, que corresponde ao principal eixo drenante da bacia e estabelece uma divisória hidráulica entre a margem direita e a esquerda, o que implicou uma diferenciação de ambientes entre as duas margens, e consequentemente, sob o ponto de vista hidrogeológico, diferenças na produtividade e no quimismo das águas (ALMEIDA *et al.*, 2000). Tendo em conta que o sistema aquífero se insere numa região onde existem áreas com elevada concentração populacional e industrial, e possui elevada produtividade e excelente qualidade das águas subterrâneas, fornece praticamente a totalidade das águas aqui exploradas. A maioria dos volumes captados localizam-se na Península de Setúbal, garantindo abastecimentos industriais, domésticos e agrícolas em grande quantidade (SIMÕES, 1998).

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

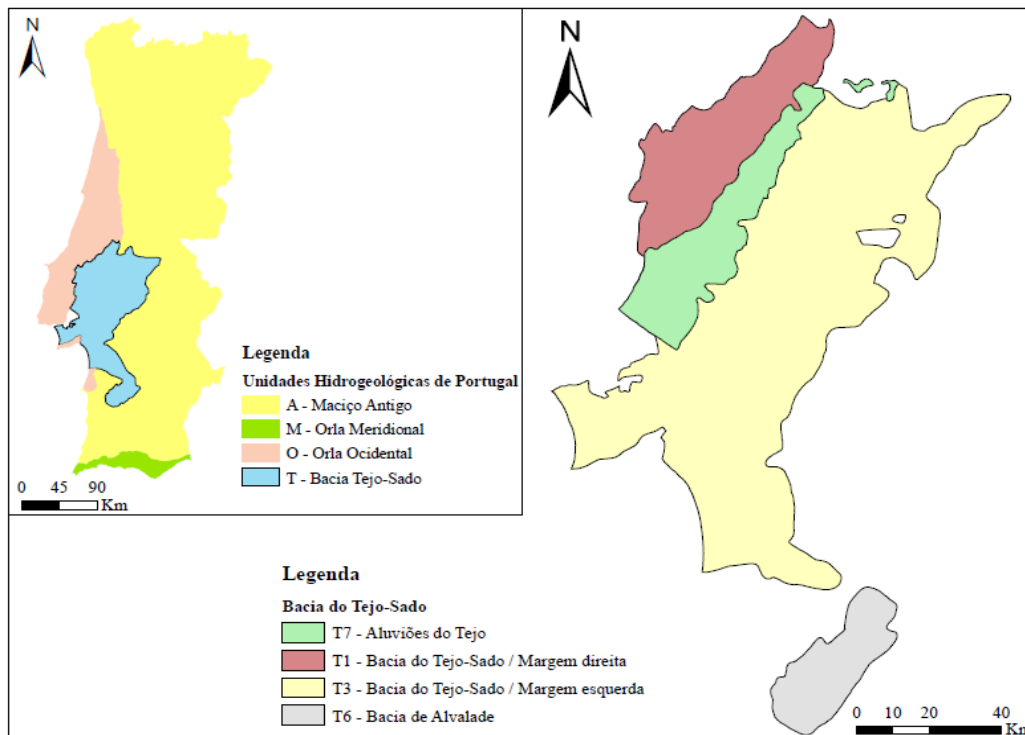


Figura 2.10: Unidades hidrogeológicas de Portugal Continental e enquadramento hidrogeológico do sistema aquífero do Tejo/Margem esquerda.

O sistema aquífero é complexo em termos litológicos e estruturais, apresentando variações laterais e verticais de fácies que condicionam bastante as suas características hidrogeológicas. É formado por várias camadas porosas, confinadas ou semiconfinadas, e por camadas argilosas de baixa permeabilidade, nomeadamente aquitardos e aquíclusos (PNUD, 1980) (Figura 2.11). Na Península de Setúbal, o sistema aquífero é constituído por um aquífero superior livre, instalado nos depósitos mais recentes e nas areias do topo do Pliocénico, e um aquífero confinado ou semiconfinado multicamada abaixo do anterior, instalado nas camadas da base do Pliocénico e nas camadas biocalcareníicas do Miocénico superior a médio (ALMEIDA *et al.*, 2000). A maiores profundidades, existe outro aquífero confinado menos produtivo e de menor qualidade nos depósitos da base do Miocénico (SIMÕES, 1998).

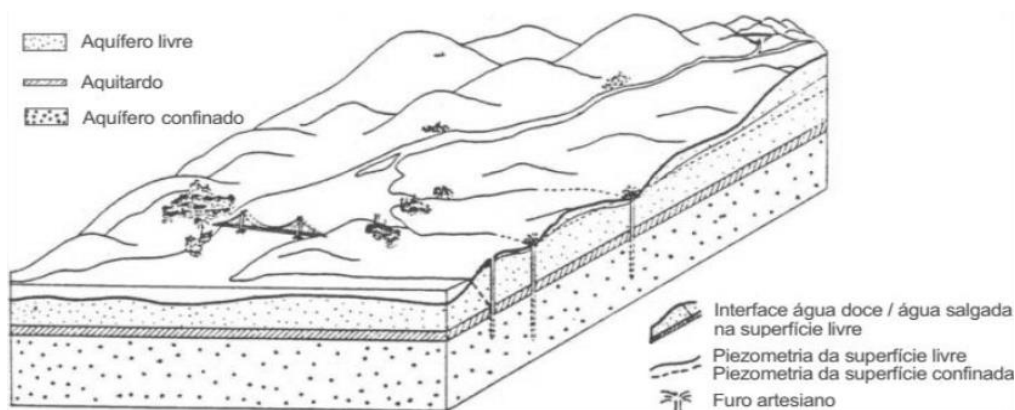


Figura 2.11: Representação esquemática tridimensional do sistema aquífero mio-pliocénico do Tejo e Sado (PNUD, 1980).

A transmissividade média estimada para as regiões de Almada, Seixal e Barreiro é superior a  $864 \text{ m}^2/\text{dia}$  para o aquífero semiconfinado. Os furos que captam o Miocénico apresentam baixos caudais específicos, entre  $0,02 \text{ l/s/m}$  e  $1,7 \text{ l/s/m}$ , comparativamente aos valores observados em furos a captarem

o Pliocénico, 0,03 l/s/m a 12,4 l/s/m. Quando os furos captam simultaneamente os dois aquíferos, estes valores apresentam bastante aleatoriedade consoante as características hidrogeológicas dos locais de implantação, nomeadamente da espessura e da condutividade hidráulica resultante (ALMEIDA *et al.*, 2000).

As águas do Pliocénico são pouco mineralizadas (baixa salinidade e baixo teor de sódio), enquanto as águas do Miocénico inferior a médio são mais mineralizadas, de fáceis bicarbonatada sódica e/ou cálcica. Por ação da intrusão salina em zonas próximas do estuário, as águas podem tornar-se cloretadas sódicas (SIMÕES, 1998).

Por se tratar de um sistema aquífero extenso, é possível individualizar vários tipos de escoamentos e áreas hidrogeologicamente diferenciadas, no entanto, em regime natural, o escoamento subterrâneo no sistema aquífero dá-se preferencialmente, na sua componente transversal, em direção ao principal eixo drenante da bacia, rio Tejo, originando descargas nas aluviões e, numa componente longitudinal, em direção ao Oceano Atlântico (MENDONÇA, 2007; SIMÕES, 1998). As direções preferenciais do escoamento subterrâneo dos aquíferos superficiais são o estuário do Tejo e os seus afluentes, enquanto a zona de descarga do aquífero semiconfinado, que se prolonga sob o estuário do Tejo, poderá ser o Oceano Atlântico (ALMEIDA *et al.*, 2000). A recarga dá-se por infiltração direta da precipitação em toda a bacia, normalmente nos depósitos de idade pliocénica e quaternária das terras altas e planaltos que marginam o rio, cedendo parte dessa recarga por drenância aos depósitos subjacentes do Pliocénico e Miocénico (MENDONÇA, 2007) (Figura 2.12).

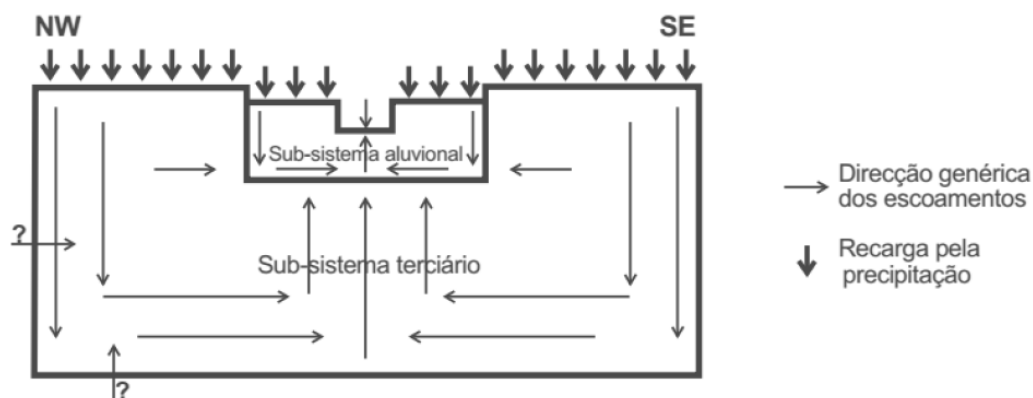


Figura 2.12: Modelo hidrogeológico conceptual de fluxo do Sistema Aquífero Tejo-Sado/Margem esquerda, resultante das observações de níveis piezométricos na parte central da Bacia do Tejo e Sado e na fase inicial da exploração do sistema aquífero (MENDONÇA, 2007).

A exploração intensiva do sistema aquífero terciário implica um potencial hidráulico do aquífero livre superior ao do semiconfinado, ao contrário do que ocorreria sem extração, e conseqüentemente, o sentido do fluxo encontrar-se-á atualmente invertido em muitas áreas da bacia. Assumindo que os dois aquíferos estão em conexão hidráulica, poderá haver transferências do aquífero livre para o semiconfinado e vice-versa, consoante se está em zonas de recarga ou de descarga do sistema (SIMÕES, 1998).

### 2.4. Enquadramento Climático

O clima da região é de tipo mediterrânico, influenciado pelo oceano Atlântico, com duas estações quentes e frias, respetivamente, verão e inverno, e duas estações temperadas, outono e primavera, caracterizando-se por um forte contraste sazonal. Segundo os dados da estação meteorológica de S. Julião do Tojal (20C/01C) para a série histórica de 1940 – 1990, a temperatura média anual varia entre 16 e 17,5 °C, em que janeiro corresponde ao mês mais frio, com 10,1 °C, e agosto ao mais quente, com 23,6 °C. A precipitação distribui-se mensalmente de forma irregular, ocorrendo cerca de 75% na

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

estação húmida, durante 2 a 4 meses, sendo ocasional nos restantes. É de notar que, num ano húmido, os valores de precipitação anual excedem 80% do total do período analisado e num ano seco excedem os 20%. Os ventos predominantes sopram do quadrante norte e noroeste, variando de fraca a moderada intensidade (8-13 km/h). A insolação média anual situa-se entre as 2900 h e as 3000 h, com valores mais elevados em julho e agosto (ARH TEJO, 2010, *in* ZEFERINO, 2016).

A Figura 2.13 apresenta valores compreendidos entre 1961 e 1990 para a estação meteorológica do Lavradio (E116), no município do Barreiro, com valor de precipitação média anual de 588,1 mm.

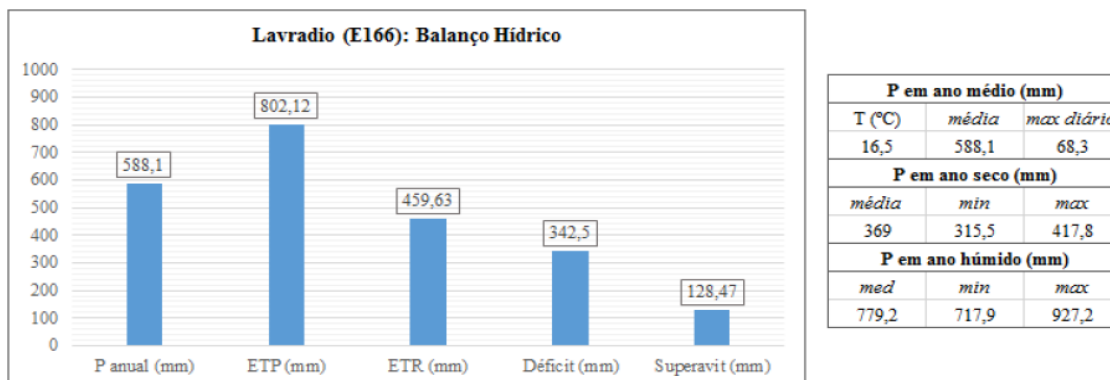


Figura 2.13: Modelo de cálculo do balanço hídrico segundo o método de Thornthwaite-Mather e valores de precipitação anual, mínima e máxima, em condições normais, em anos húmidos e secos para a estação meteorológica do Lavradio (E166), entre 1961 e 1990 (adaptado de ARH TEJO, 2010, *in* ZEFERINO, 2016).

As estações meteorológicas de Alcochete (21D/01UG) e Vila Nogueira de Azeitão (22C/02UG) estão próximas da área de estudo e apresentam valores de precipitação média anual de 545,75 mm e 940 mm, respetivamente, obtidos através da média aritmética de pelo menos 28 registos de precipitação anual que constam na base de dados do SNIRH, entre 1977 e 2005 para a estações meteorológicas de Alcochete (21D/01UG) e entre 1977 e 2018 para a de Vila Nogueira de Azeitão (22C/02UG) (Anexo 1). Os dados do Atlas do Ambiente permitiram também obter uma ideia geral da precipitação anual na Península de Setúbal (Figura 2.14).

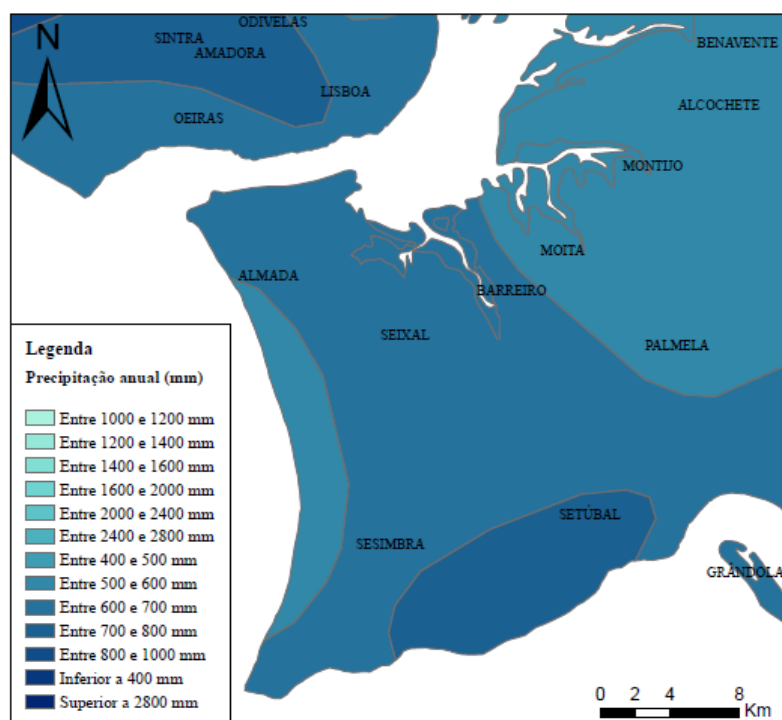


Figura 2.14: Precipitação anual na Península de Setúbal (dados provenientes do Atlas do Ambiente).

---

### 2.5. Enquadramento Legal: Qualidade da Água Destinada ao Consumo Humano

A classificação das águas para abastecimento público relativamente à sua qualidade é de extrema importância para fins de consumo humano e saúde pública.

Os planos de segurança da água são uma recomendação da OMS (Organização Mundial de Saúde) que permite identificar e priorizar riscos que podem ocorrer num sistema público de abastecimento, desde a origem até à torneira do consumidor, determinando medidas para os reduzir ou eliminar e estabelecendo processos para averiguar a eficácia da gestão, dos sistemas de controlo e da qualidade da água produzida. Têm como principal objetivo garantir a qualidade da água para consumo humano, eliminar ou reduzir a contaminação da água, nas origens, durante o processo de tratamento e a prevenção de ocorrências no armazenamento, na distribuição, no manuseamento e na distribuição (Vieira & Morais, 2005).

O Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de agosto, revisto pelo Decreto-Lei n.º 74/90 de 7 de março, estabelece normas, critérios e objetivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos. Este Decreto-Lei aplica-se à água bruta, e, consoante a sua qualidade, as águas superficiais destinadas à produção de água para consumo humano podem ser classificadas em classes consoante o tratamento a dar-lhes para as adequar ao consumo humano, nas classes A1 (tratamento físico e desinfeção), A2 (tratamento físico e químico e desinfeção) ou A3 (tratamento físico, químico de afinação e desinfeção). As águas subterrâneas que apresentem qualidade superior ou igual à da classe A1 das águas doces superficiais destinadas à produção de água para consumo humano consideram-se aptas para serem utilizadas como origem de água para a produção de água para consumo humano.

O Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de agosto, faz a revisão da Portaria n.º 1216/2003, de 16 de outubro e do Decreto-Lei n.º 243/2001, de 5 de setembro, que transpôs para o ordenamento jurídico interno a Diretiva n.º 98/83/CE, do Conselho, de 3 de novembro, devido à necessidade de adaptar a legislação nacional relacionada com a qualidade da água para consumo humano às obrigações da referida diretiva. Refere-se à água tratada e estabelece o regime da qualidade da água destinada ao consumo humano, com objetivo de proteger a saúde humana dos efeitos nocivos provocados pela eventual contaminação dessa água e assegurar a disponibilização tendencialmente universal de água salubre, limpa e desejavelmente equilibrada na sua composição. Estabelece ainda os critérios de repartição da responsabilidade pela gestão de um sistema de abastecimento público de água para consumo humano, quando a mesma seja partilhada por duas ou mais entidades gestoras.

O Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro, procede à segunda alteração ao Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de agosto, alterado pelo Decreto-Lei n.º 92/2010, de 26 de julho, que transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva (UE) n.º 2015/1787 da Comissão, de 6 de outubro de 2015, que altera os anexos II e III da Diretiva 98/83/CE do Conselho relativa à qualidade da água destinada ao consumo humano; e a Diretiva n.º 2013/51/EURATOM do Conselho, de 22 de outubro de 2013, que estabelece requisitos para a proteção da saúde do público em geral no que diz respeito às substâncias radioativas presentes na água destinada ao consumo humano. Assim, o anexo II referido anteriormente permite alguma flexibilidade na realização do controlo de inspeção e do controlo de rotina, permitindo uma amostragem menos frequente em certas situações.

Segundo o Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de agosto, «Valor paramétrico» corresponde ao valor máximo ou mínimo fixado para cada um dos parâmetros a controlar, contendo parâmetros microbiológicos (Tabela 2.1), indicadores (cujo valor deve ser considerado como valor guia, nos termos da legislação) (Tabela 2.2) e químicos (

Tabela 2.3), e a «Qualidade da água para consumo humano» é a característica dada pelo conjunto de valores de parâmetros microbiológicos e físico-químicos fixados nas partes I, II e III do anexo I. Segundo o Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de agosto, «Valor máximo recomendado» ou «VMR»

---

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

corresponde ao valor de norma de qualidade que, de preferência, deve ser respeitado ou não excedido, e o «Valor máximo admissível» ou «VMA» ao valor de norma de qualidade que não deverá ser ultrapassado.

Tabela 2.1: Comparação dos valores paramétricos estabelecidos nos três decretos-lei para os parâmetros microbiológicos.

Parâmetro (Unidades)	Valores paramétricos			
	Decreto-Lei n.º 152/2017 de 7 de dezembro	Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de agosto	Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de agosto	
			VMR	VMA
<i>Escherichia coli</i> (N/100 ml)	0	0		
Enterococos (N/100 ml)	0	0		

Tabela 2.2: Comparação dos valores paramétricos estabelecidos nos três decretos-lei para os parâmetros indicadores.

Parâmetros Indicadores (Unidades)	Valores paramétricos				Observações e Notas relevantes
	Decreto-Lei n.º 152/2017 de 7 de dezembro	Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de agosto	Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de agosto		
			VMR	VMA	
Alumínio (µg/l Al)	200	200			
Amónio (mg/l NH <sub>4</sub> )	0,50	0,50			
Bactérias coliformes (N/100 ml)	0	0	50		*Nota 1
Cálcio (mg/l Ca)	-	-			
Carbono orgânico total (mg/l C)	Sem alteração anormal	Sem alteração anormal	-	-	
Cheiro a 25 °C (Fator de diluição)	3	3	3	-	
Cloratos (mg/l ClO <sub>3</sub> )	0,7				Parâmetro Conservativo
Cloretos (mg/l Cl)	250	250	200	-	*Nota 2
Cloritos (mg/l ClO <sub>2</sub> )	0,7				
<i>Clostridium perfringens</i> (incluindo esporos) (N/100 ml)	0	0			
Condutividade (µS/cm a 20 °C)	2 500	2 500	1000	-	
Cor (mg/l PtCo)	20	20	10	20	
Desinfetante residual (mg/l)	-	-			*Nota 3
Dose indicativa (mSv)	0,10	0,10			*Nota 4
Dureza total (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	-	-	-	500	*Nota 5
Ferro (µg/l Fe)	200	200			
Magnésio (mg/l Mg)	-	-	30	50	*Nota 6
Manganês (µg/l Mn)	50	50	20	50	
Microcistinas — LR total (µg/l)	1	1			
N.º de colónias a 22 °C (N/ml)	Sem alteração anormal	Sem alteração anormal			*Nota 7
N.º de colónias a 36 °C (N/ml)	Sem alteração anormal	Sem alteração anormal			Parâmetro Conservativo
Oxidabilidade (mg/l O <sub>2</sub> )	5,0	5,0	2	5	*Nota 8 *Nota 9
pH (Unidades de pH)	≥ 6,5 e ≤ 9,5	≥ 6,5 e ≤ 9	≥ 6,5 e ≤ 8,5	-	
Radão (Bq/l)	500				
Sabor a 25 °C (Fator de diluição)	3	3			Parâmetro Conservativo
Sódio (mg/l Na)	200	200	20	150	Parâmetro Conservativo
Sulfatos (mg/l SO <sub>4</sub> )	250	250	150	250	
Trítio (Bq/l)	100	100			
Turvação (UNT)	4	4	0,4	4	

\*Ver anexo 2



## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Tabela 2.3: Comparação dos valores paramétricos estabelecidos nos três decretos-lei para os parâmetros químicos.

Parâmetros Químicos (Unidades)	Valores Paramétricos				Observações e Notas relevantes
	Decreto-Lei n.º 152/2017 de 7 de dezembro	Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de agosto	Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de agosto		
			VMR	VMA	
1,2 – dicloroetano (µg/l)	3,0	3,0			Parâmetro Conservativo
Acrilamida (µg/l)	0,10	0,10			Parâmetro Conservativo
Antimónio (µg/l Sb)	5,0	5,0			Parâmetro Conservativo
Arsénio (µg/l As)	10	10	-	-	Parâmetro Conservativo
Benzeno (µg/l)	1,0	1,0			Parâmetro Conservativo
Benzo(a)pireno (µg/l)	0,01	0,01			
Boro (mg/l B)	1,0	1,0	1	-	Parâmetro Conservativo
Bromatos (µg/l BrO <sub>3</sub> )	10	10			Parâmetro Conservativo
Cádmio (µg/l Cd)	5,0	5,0	1000	5000	Parâmetro Conservativo
Chumbo (µg /l Pb)	10	10	-	50000	*Nota 1
Cianetos (µg /l CN)	50	50	-	50000	Parâmetro Conservativo
Cloreto de vinilo (µg/l)	0,50	0,50			
Cobre (mg/l Cu)	2,0	2,0	0,02	0,05	*Nota 2
Crómio (µg /l Cr)	50	50	-	50000	Parâmetro Conservativo
Epícloridrina (µg/l)	0,10	0,10			
Fluoretos (mg/l F)	1,5	1,5	0,7-1	1,5	Parâmetro Conservativo
Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (µg/l)	0,10	0,10	-	0,2	
Mercúrio (µg /l Hg)	1,0	1,0	500	1000	Parâmetro Conservativo
Nitratos (mg/l NO <sub>3</sub> )	50	50	25	50	
Nitritos (mg/l NO <sub>2</sub> )	0,50	0,50			
Níquel (µg/l Ni)	20	20	-	-	
Pesticida individual (µg/l)	0,10	0,10	-	0,1	Parâmetro Conservativo
Pesticidas - totais (µg/l)	0,50	0,50	-	1	Parâmetro Conservativo
Selénio (µg/l Se)	10	10	-	10000	Parâmetro Conservativo
Tetracloroetano e tricloroetano (µg/l)	10	10			Parâmetro Conservativo
Trihalometanos (µg/l)	100 (80 no ponto de entrega)	100			

\*Ver anexo 2

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Tabela 2.4: Concentrações derivadas de radioatividade na água.

Valores Paramétricos		
Decreto-Lei n.º 152/2017 de 7 de dezembro		
Origem	Parâmetros Radiológicos (Nuclídeo)	Concentração derivada
Natural	U-238	3 Bq/l
	U-234	2,8 Bq/l
	Ra-226	0,5 Bq/l
	Ra-228	0,2 Bq/l
	Pb-210	0,2 Bq/l
	Po-210	0,1 Bq/l
	C-14	240Bq/l
Artificial	Sr-90	4,9 Bq/l
	Pu-239 / Pu-240	0,6 Bq/l
	Am-241	0,7 Bq/l
	Co-60	40 Bq/l
	Cs-134	7,2 Bq/l
	C-137	11Bq/l
	I-131	6,2 Bq/l

Tabela 2.5: Comparação dos valores paramétricos estabelecidos nos três decretos-lei para os parâmetros radiológicos  $\alpha$ -total e  $\beta$ -total.

Parâmetros Radiológicos (Unidades)	Valores paramétricos			
	Decreto-Lei n.º 152/2017 de 7 de dezembro	Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de agosto	Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de agosto	
			VMR	VMA
$\alpha$ -total (Bq/l)	0,10	0,5	0,1	
$\beta$ -total (Bq/l)	1,00	1	1	

O Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de agosto designa também «Entidade gestora de sistema de abastecimento público em alta» como sendo a entidade responsável por um sistema destinado, no todo ou em parte, ao represamento, à captação, à elevação, ao tratamento, ao armazenamento e à adução de água para consumo público, e «Entidade gestora de sistema de abastecimento público em baixa» como sendo a entidade responsável por um sistema destinado, no todo ou em parte, ao armazenamento, à elevação e à distribuição de água para consumo público aos sistemas prediais, aos quais liga através de ramais de ligação. A Câmara Municipal do Barreiro é, em simultâneo, entidade gestora em alta e em baixa.

A Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR), enquanto autoridade competente para a qualidade da água destinada ao consumo humano, é responsável pela coordenação e fiscalização da aplicação do Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro. O modelo de regulação da ERSAR é direcionado a todas as entidades gestoras (EG) de sistemas públicos de abastecimento de água para consumo humano. A verificação de conformidade da qualidade da água é realizada obrigatoriamente na torneira do consumidor ou no ponto de entrega (PE), consoante se trate, respetivamente, de entidades gestoras em baixa ou em alta.

---

É da competência das entidades gestoras garantir que a água destinada ao consumo humano seja salubre, limpa e desejavelmente equilibrada, não contendo microrganismos, parasitas ou substâncias em quantidade ou concentração que possam constituir um perigo potencial para a saúde humana, cumprindo as normas de qualidade estabelecidas na legislação, e que não seja agressiva, nem incrustante ao longo do sistema de abastecimento (Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de agosto). A implementação da legislação pelas entidades gestoras não pode, de forma alguma, deteriorar a qualidade da água para consumo humano nem produzir qualquer aumento da poluição das águas utilizadas para a produção de água potável (Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de agosto).

No início de cada ano civil, as entidades gestoras devem dispor de um programa de controlo da qualidade da água (PCQA) destinada ao consumo humano aprovado pela ERSAR, que dê cumprimento aos parâmetros e às frequências fixadas nos anexos I e II do Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro, baseando-se numa avaliação do risco, e que integre o controlo da qualidade da água de todas as zonas de abastecimento ou pontos de entrega sob a gestão e operação da entidade gestora, sendo que o PCQA só se considera aprovado na ausência de pronúncia da ERSAR no prazo de 45 dias contado a partir da data de submissão no Portal da ERSAR. Para além disso, devem manter os registos relativos ao controlo da qualidade da água para consumo humano e a respetiva documentação por um período mínimo de cinco anos (Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de agosto). Desde que se realizem avaliações de risco aprovadas pela autoridade competente, com base nas diretrizes nacionais para a qualidade da água para consumo humano ou da Organização Mundial da Saúde, as entidades gestoras podem ser dispensadas de algumas das disposições dos programas de controlo da qualidade da água.

Se houver suspeitas da presença de substâncias e/ou microrganismos em quantidades que constituam potencial risco para a saúde humana, para os quais não tenham sido fixados os valores paramétricos, as entidades gestoras devem realizar controlos suplementares, de forma minuciosa, em função da avaliação do risco e elaborar um plano de comunicação para situações de emergência relacionadas com a qualidade da água destinada ao consumo humano (Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro).

As entidades gestoras devem elaborar um programa de monitorização operacional, que pode ser sustentado numa avaliação do risco e que possibilite averiguar a eficiência das medidas de controlo dos riscos para a saúde humana, identificados em todo o sistema de abastecimento de água, assim como a salubridade e a limpeza da água nos limiares de conformidade, conceder informações sobre a qualidade da água para consumo humano conforme a legislação e identificar os meios mais adequados para minimizar o risco para a saúde humana (Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro).

A avaliação de risco realizada pela entidade gestora deve basear-se nos princípios gerais da avaliação do risco enunciados em relação a normas europeias e internacionais, nomeadamente a norma EN 15975 -2, e devem ter em conta os resultados dos PCQA dos anos anteriores aprovados pela ERSAR; os resultados da monitorização efetuada pela entidade gestora na água bruta, de cada origem de água identificada no PCQA; os resultados dos programas de monitorização nas massas de água superficiais e subterrâneas, nomeadamente das zonas protegidas referentes a massas de água destinadas à captação de água para consumo humano, ao abrigo da Lei da Água que transpõe para o ordenamento jurídico nacional a Diretiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de outubro, disponíveis no *site* da APA, I. P.; a aplicação das restrições estabelecidas para os perímetros de proteção das origens de água definidos nos termos legais aplicáveis, assim como as medidas estabelecidas no Plano de Gestão de Região Hidrográfica em vigor correspondente, disponíveis no *site* da APA, I. P.; e os resultados da monitorização operacional realizada no sistema de abastecimento pela entidade gestora.

Conforme o artigo 6.º da Diretiva n.º 2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de outubro de 2000 (Diretiva-Quadro da Água), transposta para o direito interno através da Lei n.º 58/2005, de 29 de dezembro, que aprova a Lei da Água, e do Decreto-Lei n.º 77/2006, de 30 de março, os Estados-Membros estão obrigados a realizar um ou mais registos das zonas protegidas, zonas estas

---

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

---

que abrangem todas as massas de água destinadas à captação de água para consumo humano, ou com essa finalidade, nos termos do artigo 7.º da mesma diretiva. Os resultados da monitorização destas massas de água, devem servir para determinar o risco potencial para a água destinada ao consumo humano, antes e após o tratamento, para cumprir a Diretiva n.º 98/83/CE.

Existe um grupo de parâmetros constituídos pelo controlo de rotina, de inspeção dos PCQA e frequências mínimas de amostragem, a aplicar na verificação de conformidade da água destinada ao consumo humano. O número de amostragens deve ser distribuído igualmente no espaço e no tempo, de acordo com os critérios definidos pela ERSAR (Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro). O controlo de rotina, constituído pelo controlo de rotina 1 e controlo de rotina 2, tem como objetivo fornecer regularmente informações sobre a qualidade organolética e microbiológica da água destinada ao consumo humano, e sobre a eficácia dos tratamentos existentes, sobretudo a desinfecção, de modo a determinar a conformidade da água com os valores paramétricos estabelecidos na legislação. O controlo de inspeção deve incluir todos os parâmetros fixados no anexo I que não foram analisados nos controlos de rotina 1 e de rotina 2, com a frequência fixada nos quadros B1 ou B2 do Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro, à exceção dos casos em que o controlo foi dispensado, concedidos ao abrigo do artigo 14.º - A, ou quando a autoridade de saúde ou a ERSAR autorizar a sua não determinação, por um período definido pelas mesmas, por entenderem que esse parâmetro não estará presente em concentrações que impliquem o incumprimento dos valores paramétricos respetivos. A frequência mínima de amostragem e de análise da água destinada para consumo humano é realizada anualmente, analisando os parâmetros pelos tipos de controlo (controlos de rotina 1, de rotina 2 e de inspeção), variando consoante o volume de água fornecido, em metros cúbicos por dia.

Geralmente, para grande parte dos parâmetros analisados, principalmente os físico-químicos, as concentrações presentes raramente violam os valores limite, contudo, a monitorização e comunicação desses parâmetros sem importância prática é dispendiosa, especialmente se for um elevado número de parâmetros, portanto, frequências de monitorização flexíveis em dadas circunstâncias permitem reduzir custos, sem comprometer a proteção da saúde humana ou outros valores importantes. A monitorização flexível também reduz a recolha de dados que fornecem poucas ou nenhuma informação sobre a qualidade da água para consumo humano (Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro).

A fiscalização do cumprimento do disposto no Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro é realizada pela ERSAR e pela ASAE, pelo que, quando não se verifica o cumprimento da legislação, existem contraordenações puníveis com coima variável, quando os factos são praticados por pessoa singular ou coletiva.

## 3. METODOLOGIA DE TRABALHO

A metodologia adotada para concretizar os objetivos pretendidos foi agrupada nas seguintes etapas:

- 1) Caracterização da área de estudo em termos geológicos e hidrogeológicos;
- 2) Elaboração do modelo hidrogeológico conceptual;
- 3) Modelação e calibração do fluxo subterrâneo (MODFLOW);
- 4) Modelação do transporte de massa, nomeadamente de cloretos (MT3D).

A primeira etapa consistiu na recolha bibliográfica sobre o estado atual do conhecimento do Sistema Aquífero do Tejo-Sado na região em estudo, análise da legislação aplicada à qualidade da água para abastecimento público, planos de segurança da água, e na compilação e interpretação de dados geológicos e hidrogeológicos de sondagens na área em estudo e arredores, provenientes das entidades CMB, GPEP, base de dados do SNIRH, Parque Empresarial Baía do Tejo e LNEG. Os dados hidroquímicos de captações destinadas ao abastecimento público da Câmara Municipal do Barreiro e do Parque Empresarial Baía do Tejo permitiram realizar uma análise química focada na concentração de cloreto presente na água subterrânea para identificar possíveis fenómenos de intrusão salina. A correlação e interpretação de sondagens de pesquisa e captação de água subterrânea permitiram desenhar cinco perfis geológicos, quatro transversais e um longitudinal relativamente ao município do Barreiro, com recurso ao software AutoCAD, de modo a construir um modelo geológico da região. As descrições litológicas das sondagens foram também utilizadas para estimar a condutividade hidráulica horizontal e vertical do aquífero superior livre e aquitardo com base na metodologia proposta por BREDDIN (1963), tendo-se obtido assim uma classificação quantitativa para os valores de condutividade hidráulica.

Os ensaios de bombeamento consultados permitiram estimar a transmissividade do aquífero confinado/semiconfinado instalado nas camadas da base do Pliocénico e nas camadas biocalcareníicas do Miocénico superior a médio, únicas formações exploradas economicamente no Barreiro.

A segunda etapa consistiu na interpretação da informação anteriormente obtida e na análise dos níveis hidrostáticos e hidrodinâmicos, não só ao longo do tempo, mas também consoante a profundidade das captações, em que se definiram as unidades hidrogeológicas e o funcionamento hidráulico do sistema aquífero desde a Serra da Arrábida até ao estuário do Tejo.

A terceira etapa consistiu na simulação do fluxo subterrâneo em MODFLOW, contido no programa PROCESSING MODFLOW na versão 5.3, construído a partir do modelo hidrogeológico conceptual com o objetivo de gerar superfícies piezométricas em cada unidade hidrogeológica de modo a perceber como varia o escoamento subterrâneo em regime estacionário e transitório. Para construir o modelo de fluxo, foi necessário obter a geometria do modelo, nomeadamente, a delimitação da área de modelação, a geração da malha computacional, a discretização espacial e temporal e condições de fronteira. O modelo de fluxo necessita também da introdução de parâmetros, tais como as condições iniciais, condutividade hidráulica, transmissividade, porosidade eficaz, recarga, coeficiente de armazenamento e retenção específica. Os ficheiros de entrada a introduzir no modelo foram concebidos, na sua maioria, com recurso ao ArcMap, do software ArcGIS, na versão 10.7.1. O modelo de fluxo subterrâneo foi calibrado manualmente, por tentativa-erro, ajustando os valores dos parâmetros introduzidos nas 3 unidades hidrogeológicas consideradas ao mesmo tempo que se adequaram os caudais de exploração das captações da CMB e do Parque Empresarial Baía do Tejo de modo a reproduzir o rebaixamento observado e descrito nos relatórios fornecidos por estas entidades. A simulação/calibração permitiu também estimar o volume extraído noutros furos, cujo efeito se assemelha ao observado no cone de depressão gerado pelos níveis hidrodinâmicos locais.

A quarta etapa consistiu na simulação do transporte de massa, nomeadamente de cloretos, em MT3D, contido no programa PROCESSING MODFLOW na versão 5.3, com o objetivo de simular o

### 3. METODOLOGIA DE TRABALHO

---

comportamento do íon cloreto e a suscetibilidade à contaminação salina em cada unidade hidrogeológica. Para construir o modelo de transporte de massa, foi necessário correr o modelo de fluxo subterrâneo em regime transitório no MODFLOW e inserir parâmetros do modelo de transporte de massa no MT3D, nomeadamente, condições de fronteira de massa, condições iniciais de massa, advecção, dispersividade e difusividade, concentração de entrada de massa constante.

## 4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 4.1. Aquíferos Costeiros: Contaminação por Intrusão Salina

Nos aquíferos costeiros podem ocorrer fenômenos de intrusão salina, que consistem na mistura de água doce com água salgada na interface de contacto entre as águas continentais e marinhas devido a diferenças de densidade. Essa interface designa-se por zona de mistura ou de difusão, sendo uma zona de equilíbrio dinâmico. A densidade da água doce e da água salgada é de  $1,000 \text{ g/cm}^3$  e  $1,025 \text{ g/cm}^3$ , respetivamente, assim, como a água salgada tem maior densidade e viscosidade, (na ordem dos 30 %, à mesma temperatura), mergulha sob a água doce, gerando uma interface em forma de cunha, com água doce por cima de água salgada. A posição da cunha salina é controlada pelo balanço entre a carga hidráulica do aquífero e a carga hidráulica do lado do mar. Em condições hidrostáticas estáveis, a posição da cunha salina está em equilíbrio, pois o gradiente hidráulico existente nos aquíferos costeiros induz um fluxo de água doce em direção ao mar. Se houver sobreexploração da captação e o caudal extraído pelas captações provocar rebaixamentos acentuados ou se o volume de extração for maior comparativamente à recarga natural do aquífero, o fluxo de água subterrânea que se desloca em direção ao mar diminui ou retrocede por redução do gradiente hidráulico nos aquíferos ou oscilações eustáticas do nível do mar, possibilitando o avanço de água salina para o interior do continente (Figura 4.1). Qualquer ação natural ou antrópica que altere o equilíbrio de pressões entre água doce e água salgada não permite que exista uma força a contrariar a intrusão salina. O bombeamento excessivo num aquífero pode induzir recarga nas formações adjacentes por drenância vertical, propagando a contaminação pelo sistema, caso o aquífero esteja contaminado (FERREIRA DA SILVA & HAIE, 2004). A posição da cunha salina pode variar também em consequência de variações da precipitação associadas a alterações climáticas; devido à profundidade das captações, nomeadamente na presença de sistemas multicamada; e por efeito de maré, sendo que durante a preia-mar a água salgada encontra-se a uma cota mais elevada e desloca-se em direção ao continente, ao contrário do que ocorre durante a baixa-mar.

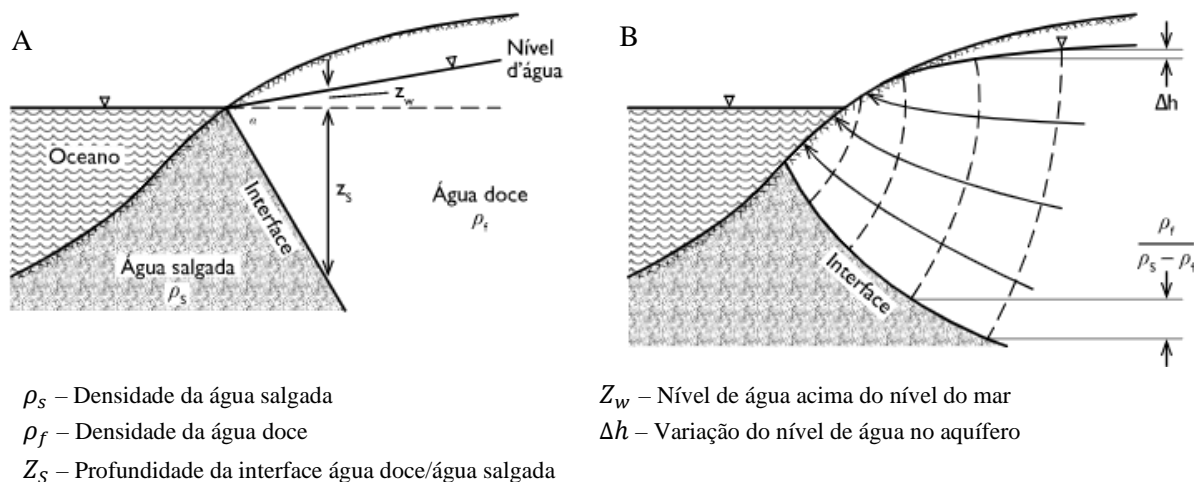


Figura 4.1: A - Posição da interface água doce/água salgada em equilíbrio hidrostático; B - Posição da interface água doce/água salgada considerando a descarga das águas subterrâneas (adaptado de FREEZE & CHERRY, 1979).

A profundidade da interface água doce/água salgada ( $Z$ ) pode ser estimada através do Princípio de Ghyben-Herzberg, baseando-se no equilíbrio estático de colunas de água de diferentes densidades, e que considera a altura do nível da água acima do nível do mar e a diferença de densidades entre água doce e água salgada através da seguinte expressão (4.1):

#### 4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

$$Z_{(x,y)} = \frac{\rho_w}{\rho_s - \rho_w} \times h_{(x,y)} \quad (4.1)$$

em que,  $\rho_w$  e  $\rho_s$  são, respetivamente, a densidade da água doce e a da água salgada ( $\text{g/cm}^3$ ), que compõem a relação adimensional  $G$ , e  $h$  é a altura do nível da água acima do nível do mar (m).

Substituindo os valores das densidades na expressão anterior, obtém-se (4.2):

$$Z_{(x,y)} = G \times h \Leftrightarrow 40 \times h \quad (4.2)$$

Este princípio, apesar de estimar relativamente bem a profundidade da interface água doce/água salgada, tem alguns inconvenientes, pois considera que o fluxo de água doce é perfeitamente horizontal, o que só acontece em zonas mais afastadas da cunha salina; assume que não existe fluxo de água salgada; e pressupõe que a interface é um plano, não existindo uma zona de mistura. Medições em aquíferos detetaram que existe uma discrepância entre a profundidade real e a calculada pelo Princípio de Ghyben-Herzberg. Assim, a profundidade real é superior à estimada pelo princípio, o que permite trabalhar pelo lado da segurança.

Nas zonas onde o efeito de maré se faz sentir, recorre-se ao Modelo de Glover (1964), onde a profundidade da interface água doce/água salgada ( $Z$ ) num determinado local, em metros, é calculada através da seguinte expressão (4.3):

$$Z = \frac{Gq'}{K} + \sqrt{\frac{2Gq'x}{K}} \quad (4.3)$$

em que,  $G$  é a relação adimensional entre as densidades da água doce e da água salgada,  $q'$  é a descarga do aquífero na linha de costa ( $\text{m}^2/\text{dia}$ ),  $K$  é a condutividade hidráulica ( $\text{m}/\text{dia}$ ) e  $x$  é a distância a partir da linha de costa (m).

Segundo FETTER (1994), a invasão de água salgada num aquífero pode ser passiva ou ativa. A invasão passiva ocorre quando há diminuição no caudal de água doce no aquífero, contudo, o gradiente hidráulico no aquífero continua favorável à descarga de água doce no mar, e a interface entre água doce/água salgada, deslocar-se-á lentamente em direção ao continente até equilibrar (Figura 4.2).

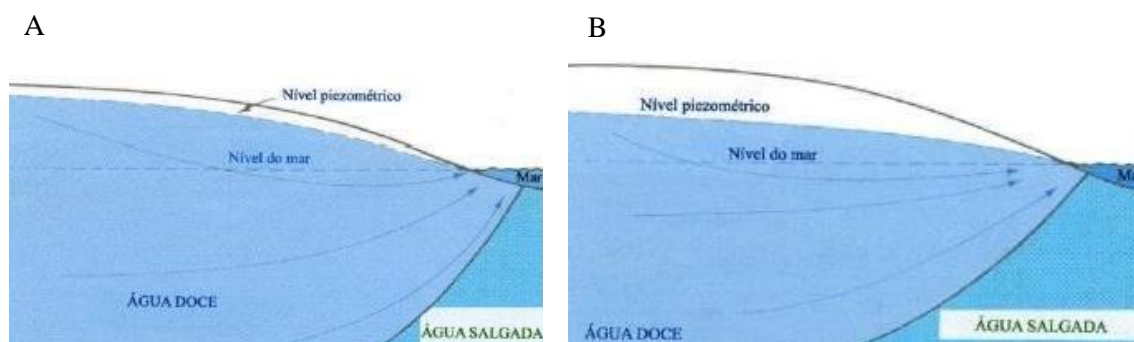


Figura 4.2: A - Aquífero livre costeiro em condições naturais de descarga de água subterrânea; B - Intrusão passiva de água salgada (adaptado de FETTER, 1994).

Segundo o mesmo autor, a intrusão ativa ocorre quando o volume de exploração supera a recarga natural do aquífero, e, conseqüentemente, o gradiente hidráulico natural do aquífero é revertido, o aquífero perde capacidade de descarregar água no mar e a água doce migra desde a interface água doce/água salgada para as captações, gerando um cone de depressão profundo. A interface desloca-se mais rápido para o interior do continente, comparativamente com a intrusão passiva, só parando quando a intrusão alcançar o ponto mais baixo do gradiente hidráulico, ou seja, o centro de bombeamento (Figura 4.3).



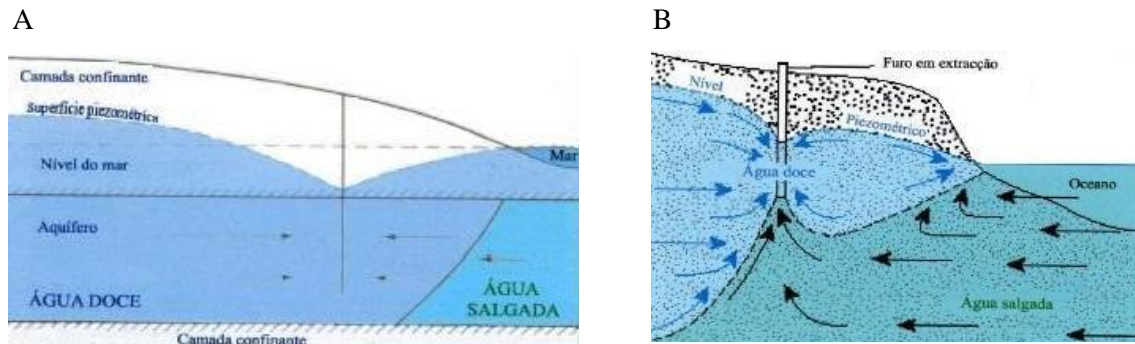


Figura 4.3: A - Intrusão ativa de água salgada num aquífero confinado com a superfície piezométrica abaixo do nível do mar; B - Intrusão ativa de água salgada num aquífero livre a afetar um furo de extração (adaptado de FETTER, 1994).

A contaminação salina pode também provir do aquífero superior se existir drenância do aquífero para o aquífero mais profundo, induzida pela extração ou gotejamento (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1983), ou se o aquífero não for contínuo, colocando assim os dois aquíferos em contacto direto.

Para maximizar o desempenho económico dos sistemas de captação de água num aquífero costeiro e minimizar o risco de intrusão salina, é necessário considerar o número máximo de captações, os locais onde serão implementadas e o volume de água a extrair em cada uma. De modo a corresponder às necessidades de abastecimento, as entidades gestoras geralmente procuram aumentar o caudal de exploração das captações subterrâneas, provocando um aumento no cone de rebaixamento. O sistema torna-se ineficaz caso o caudal extraído supere os fluxos laterais, ocorrendo intrusão de água salgada, e consequente degradação da qualidade da água doce (FERREIRA DA SILVA & HAIE, 2004). Se porventura não houver intenção de abandonar a captação, é conveniente aumentar a profundidade da mesma, assim como a capacidade das bombas e o consumo energético, porém, compromete a sustentabilidade económica da captação, tendo de se recorrer a alternativas de abastecimento fora da zona costeira (CABRAL, 2004).

Em zonas próximas do estuário existe risco de intrusão de água salobra nas captações, sendo a sua remoção bastante dispendiosa, e geralmente, não é uma solução economicamente viável (ZEFERINO, 2016). Por forma a mitigar o problema, FERREIRA DA SILVA & HAIE (2004) propõem reduzir as extrações de água doce no aquífero, um maior controlo de engenharia que interfira com o equilíbrio natural água doce/água salgada, e recarga artificial de aquíferos. Parte da água superficial disponível na região pode ser utilizada como um complemento para controlar o avanço da cunha salina e consequente aumento das reservas, consistindo na criação de uma barreira hidráulica positiva por injeção de água doce em furos implementados na zona (FERREIRA DA SILVA, 2003) (Figura 4.4).



Figura 4.4: Representação esquemática de uma barreira hidráulica positiva gerada pela injeção artificial de água para limitar o avanço da intrusão salina em zonas costeiras (adaptado de JOHNSON, 2007. in ZEFERINO, 2016).

## 4.2. Modelação Matemática

Os modelos numéricos de sistemas hidrogeológicos são representações matemáticas do escoamento subterrâneo, podendo ou não transportar contaminantes, que simulam a resposta de um aquífero a determinadas perturbações, construindo-se a partir de um modelo hidrogeológico conceptual baseado na compilação e interpretação de dados geológicos e hidrogeológicos. Apesar de serem uma simplificação da realidade, permitem compreender, gerir e controlar os recursos hídricos subterrâneos por forma a otimizar sistemas de captação de águas, definir perímetros de proteção de captações, prever o perigo ou risco de contaminação, auxiliando a tomada de decisões na resolução de diversos problemas (BONGANHA *et al.*, 2007).

O MODFLOW, contido no programa PROCESSING MODFLOW na versão 5.3, é um *software* desenvolvido pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), baseado num algoritmo de diferenças finitas em bloco centrado, para determinar o escoamento tridimensional de um fluido, sendo um arquivo modular e não-comercial acessível a qualquer usuário. No método de diferenças finitas, o domínio contínuo a modelar é substituído por diferenças entre os valores da variável de estado nessas células. Os valores são calculados célula a célula, sendo que a resolução das equações seguintes devolve dados que permitem demonstrar o escoamento através de um mapa de contornos equipotenciais, determinando o comportamento da água no aquífero (QUARESMA, 2015).

O fluxo subterrâneo da água é descrito pela Lei de Darcy, cujas derivações podem ajustar-se consoante se trate de um meio saturado ou não saturado (4.4):

$$Q = KA \frac{h1 - h2}{L} \quad (4.4)$$

em que,  $Q$  é o caudal que atravessa a secção ( $m^3/dia$ ),  $A$  é a área da secção ( $m^2$ ),  $h1-h2$  é a diferença de potencial hidráulico entre os dois pontos ( $m$ ),  $L$  é o comprimento da secção/distância entre os dois pontos ( $m$ ), e  $K$  é a condutividade hidráulica ( $m/dia$ ). Considerando um escoamento tridimensional de um fluido de densidade constante, em meio poroso, as equações do fluxo subterrâneo são as seguintes (WANG & ANDERSON, 1995; HISCOOK, 2005):

- Para circulação em estado estacionário ou de equilíbrio (4.5):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( -K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( -K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( -K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0 \quad (4.5)$$

em que,  $x, y, z$  são coordenadas cartesianas alinhadas aos principais eixos de anisotropia [L],  $K_x, K_y, K_z$  são componentes principais do tensor de condutividade hidráulica [ $LT^{-1}$ ], e  $h$  é a altura piezométrica/nível piezométrico [L].

- Para circulação em estado transitório (4.6):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_e \frac{\partial}{\partial t} \pm Q_i \left[ \frac{1}{T} \right] \quad (4.6)$$

em que,  $x, y, z$  são coordenadas cartesianas alinhadas aos principais eixos de anisotropia [L],  $K_x, K_y, K_z$  são componentes principais do tensor de condutividade hidráulica [ $LT^{-1}$ ],  $h$  é a altura piezométrica/nível piezométrico [L],  $Q_i$  é o caudal por unidade de volume (sumidouros e fontes de água) [ $T^{-1}$ ],  $S_e$  é o armazenamento específico do material atravessado [ $L^{-1}$ ], e  $t$  é o tempo [T].

Segundo ZHENG (1990) e ZHENG & WANG (1999), a determinação pontual da altura piezométrica, num modelo tridimensional obtém-se por (4.7):

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left( K_i \frac{\partial h}{\partial x_i} \right) + q_s = S_s \frac{\partial}{\partial t} \quad (4.7)$$

em que,  $x_i$  corresponde às coordenadas cartesianas alinhadas aos principais eixos de anisotropia [L],  $K_i$  às componentes principais do tensor de condutividade hidráulica [ $LT^{-1}$ ],  $h$  à altura piezométrica/nível

---

piezométrico [L],  $q_s$  ao caudal por unidade de volume, que pode ser negativo (sumidouros) ou positivo (fontes de água) [ $T^{-1}$ ],  $S_s$  ao armazenamento específico do material atravessado [ $L^{-1}$ ] e  $t$  ao tempo [T].

O MT3D, igualmente contido no programa PROCESSING MODFLOW na versão 5.3, é um *software* baseado num algoritmo de diferenças finitas para simular o transporte advectivo-dispersivo-reactivo de contaminantes miscíveis de uma única espécie em águas subterrâneas, considerando advecção, dispersão e algumas reações químicas simples sem afetar a simulação de fluxo realizada em MODFLOW.

Segundo ZHENG (1990), a equação que determina o transporte de contaminantes é a equação de advecção-dispersão (4.8).

$$\frac{\partial}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x_i} \left( D_{ij} \frac{\partial h}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} (v_j C) + \frac{q_s}{\theta} C_s + \sum_{k=1}^N R_k \quad (4.8)$$

em que,  $C$  corresponde à concentração dos contaminantes dissolvidos [ $ML^{-3}$ ],  $t$  ao tempo [T],  $x_i$  à distância ao longo da coordenada cartesiana  $x$  [L],  $D_{ij}$  ao coeficiente de dispersão hidrodinâmico [ $L^2T^{-1}$ ],  $v_i$  à velocidade linear da água [ $LT^{-1}$ ],  $q_s$  ao fluxo de água, por unidade de volume do aquífero, pode ser positivo (fontes) ou negativo (sumidouros) [ $T^{-1}$ ],  $\theta$  à porosidade do meio atravessado,  $C_s$  à concentração nas fontes ou sumidouros [ $ML^{-3}$ ] e  $\sum_{k=1}^N R_k$  ao termo da reação química [ $ML^{-3}T^{-1}$ ].

## 4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

---

## 5. DADOS RECOLHIDOS

Foram recolhidos 150 pontos de água e de pesquisa de petróleo das entidades CMB, GPEP, SNIRH, Parque Empresarial Baía do Tejo e LNEG (Figura 5.1), dos quais 53 apresentam informação detalhada (Anexo 3).

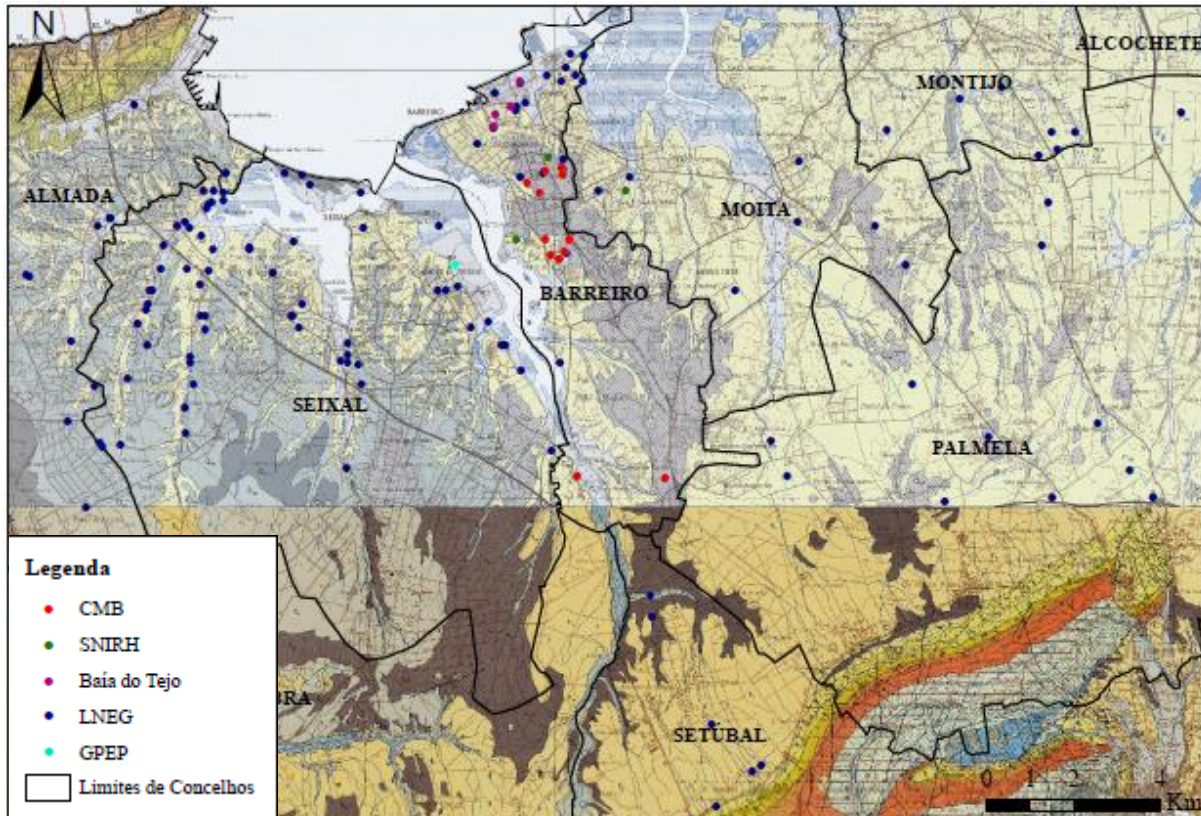


Figura 5.1: Localização dos pontos de água das entidades CMB, SNIRH, Baía do Tejo, LNEG e GPEP, recolhidos para o estudo.

### 5.1. Dados da CMB

O Município do Barreiro forneceu dados relativos a 12 captações de água subterrânea destinadas ao abastecimento público, realizadas pelas empresas A. Cavaco, Lda., Furágua Lda. e Renato Azenha Lda. entre 1987 e 2017 (Figura 5.2). Foram facultadas cotas topográficas para toda a área do concelho e perímetros de proteção propostos em 2013 em formato *shapefile*; a localização das captações através de coordenadas M e P (sistema de coordenadas *Lisboa Hayford Gauss IGeoE*) e da carta militar; dados de hidroquímica (qualidade da água desde 2012 até 2020); e relatórios dos furos com informação acerca das características das captações de água para abastecimento público, dados litológicos e de exploração, nomeadamente, caudais de exploração e o posicionamento dos níveis hidrostáticos (NHE) e hidrodinâmicos (NHD) quando os furos foram abertos. As profundidades das captações do município variam entre 266 m (FR6 de Parque da Cidade) e 320 m (AC3 de Sete Portais), com tubos-ralo situados entre os 117 m e os 302 m, que captam maioritariamente camadas arenosas da base do Pliocénico e biocalcareníicas permeáveis do Miocénico superior a médio.

## 5. DADOS RECOLHIDOS

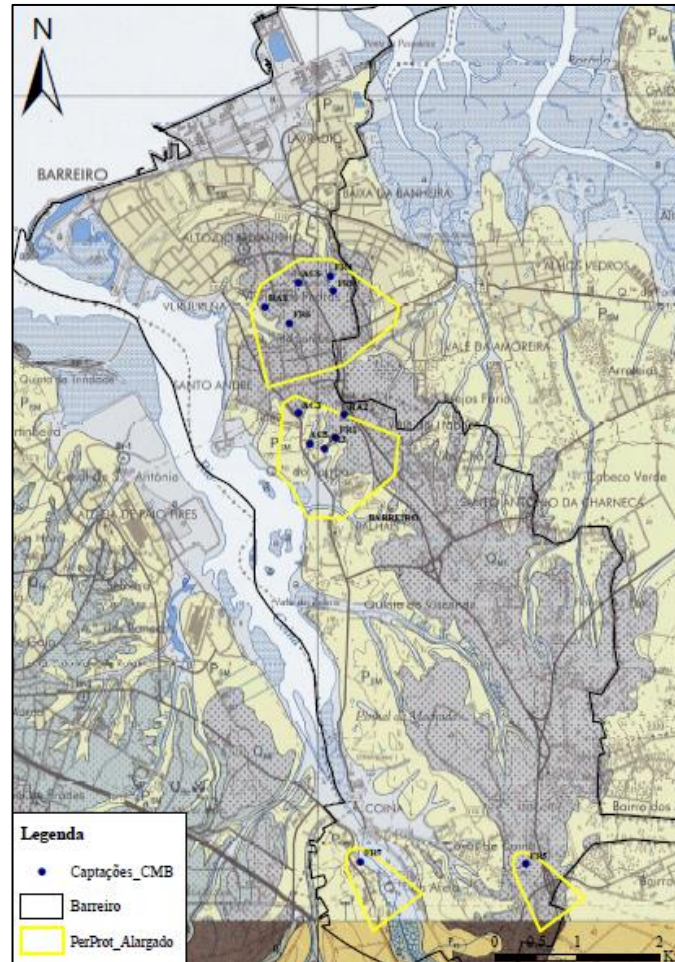


Figura 5.2: Localização das captações da Câmara Municipal do Barreiro para abastecimento público e respetivos perímetros de proteção alargados (PerProt\_Alargado), delimitados em 2013 (RA2 foi instalada em 2017, não estando englobada nos perímetros).

### 5.2.Base de Dados do GPEP

O Gabinete para a Pesquisa e Exploração de Petróleo (GPEP) forneceu a sondagem de pesquisa Barreiro 1 (Br1), com 3611 m, e a respetiva descrição geológica de detritos e testemunhos (Figura 5.3).

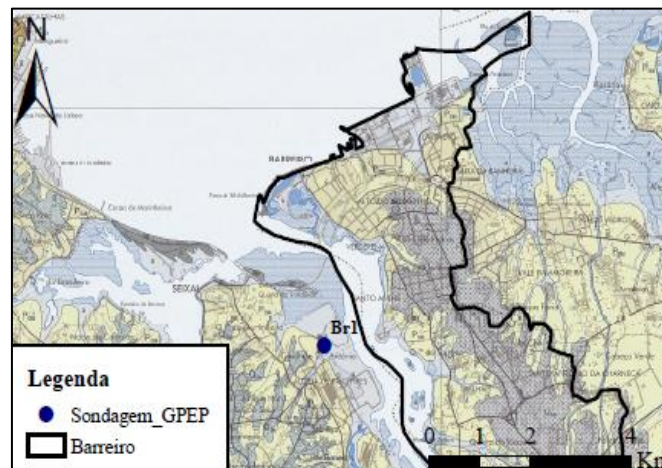


Figura 5.3: Localização da sondagem fornecida pelo GPEP.

### 5.3. Base de Dados do SNIRH

Na base de dados do SNIRH constam 4 pontos de água úteis para o estudo, referentes à rede de monitorização do sistema aquífero T3 - Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda, dos quais apenas se consideraram as medições periódicas dos níveis piezométricos e os dados de qualidade da água. O ponto de água (443/48) situa-se no município da Moita e os restantes no Barreiro. Os pontos (442/536), (442/412) e (443/48) pertencem à rede de monitorização nacional ou de vigilância de qualidade e o (442/241) à rede de quantidade (Figura 5.4).

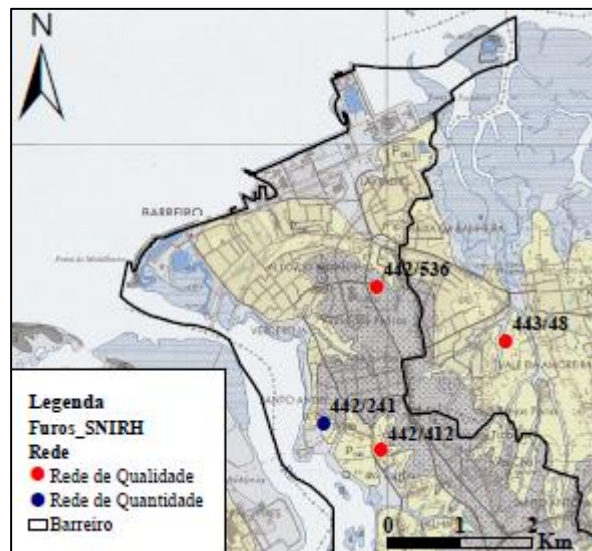


Figura 5.4: Localização dos pontos de água selecionados neste estudo, pertencentes à rede de monitorização nacional ou de vigilância de qualidade e quantidade do SNIRH.

O poço pertencente à rede de quantidade (442/241) regista a evolução dos níveis piezométricos no aquífero superior livre ao longo do tempo, mostrando uma tendência relativamente constante dos níveis piezométricos desde 2000 até 2021. Neste intervalo, as profundidades dos níveis da água variam entre 5,05 e 7,77 m em 2000 e 2010, respetivamente. Verifica-se também que os níveis piezométricos medidos para o ano hidrológico 2020/21 aumentaram ligeiramente de outubro a fevereiro, diminuindo drasticamente no mês de abril, e recuperando lentamente até setembro, com ligeiras oscilações (Figura 5.5).

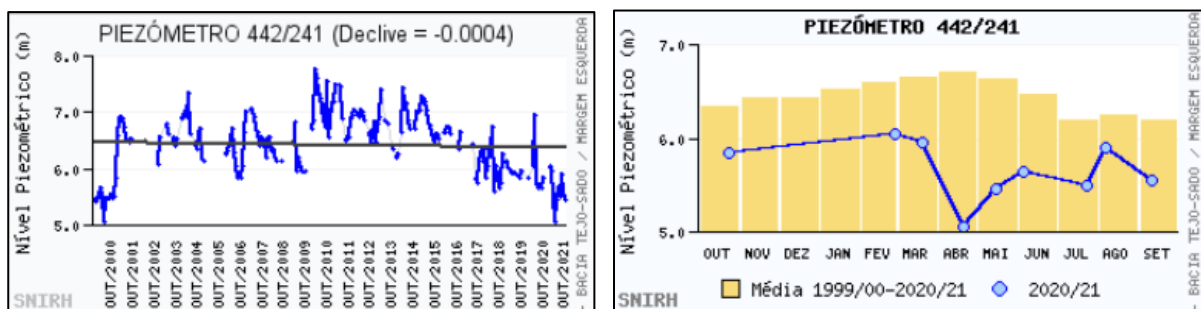


Figura 5.5: Evolução dos níveis piezométricos no aquífero superior livre entre 2000 e 2020 no piezómetro (442/241) e comparação do nível piezométrico médio durante o período de 1999/2000 a 2018/19 com o ano hidrológico de 2020/21.

Os furos pertencentes à rede de qualidade (442/412), (442/536) e (443/48) registam a evolução da concentração de cloreto, em mg/l, ao longo do tempo, mostrando uma tendência relativamente constante nos pontos de água (442/536) e (443/48), com cerca de 30 a 40 mg/l, e uma ligeira tendência crescente em (442/412), com cerca de 20 a 40 mg/l (Figura 5.6).

## 5. DADOS RECOLHIDOS

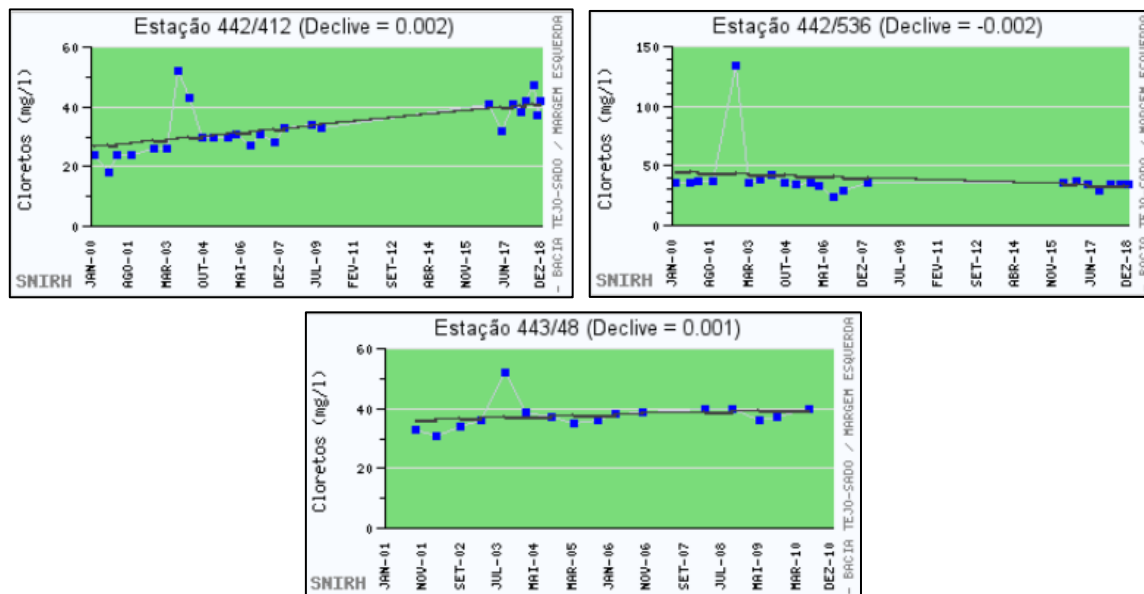


Figura 5.6: Evolução da concentração de cloreto, em mg/l, nos furos 442/412, 442/536 (entre 2000 e 2018) e 443/48 (entre 2001 e 2010), com as respetivas retas de tendência.

Nesta base de dados também constam valores de precipitação anual para duas estações meteorológicas relativamente próximas da área de estudo, nomeadamente, Alcochete (21D/01UG) e Vila Nogueira de Azeitão (22C/02UG) (Anexo 1).

### 5.4. Dados do Parque Empresarial Baía do Tejo

O Parque Empresarial Baía do Tejo forneceu dados relativos a 4 captações de água subterrânea destinadas ao abastecimento do Parque Empresarial do Barreiro, realizadas pela empresa A. Cavaco (Figura 5.7), nomeadamente, a planta de localização de furos e captações, as respetivas coordenadas M e P (sistema de coordenadas *Lisboa Hayford Gauss IGeoE*) e a carta militar onde estas se localizam; boletins de controlo da qualidade da água das captações, entre 2018 e 2020, realizados pelo Laboratório Pró-Qualidade; dados litológicos através de LOG's de sondagem; e dados de exploração, como o posicionamento dos níveis hidrostáticos (NHE) e hidrodinâmicos (NHD) à data de abertura dos furos, volumes de extração de água por trimestre, entre 2015 e 2020, e caudais de ensaio. Estas localizam-se na união de freguesias do Barreiro e Lavradio, com profundidades que variam entre os 258 m (FR5) e os 578,5 m (F10), e captam nas camadas arenosas da base do Pliocénico e biocalcareníicas permeáveis do Miocénico superior a médio, à exceção da captação F10, que capta não só os biocalcareníicos e margas do Miocénico superior a médio, mas também os biocalcareníicos do Miocénico mais profundo.

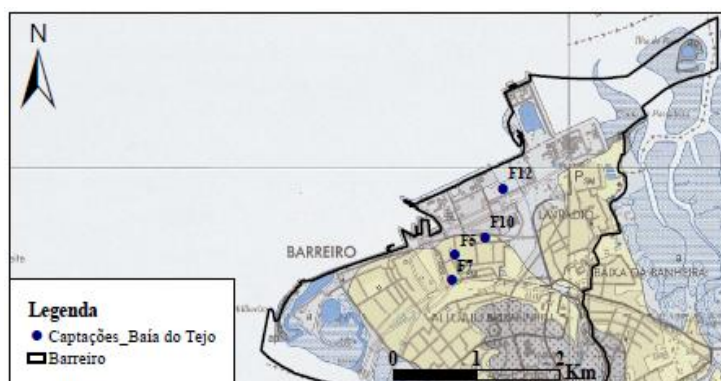


Figura 5.7: Localização das captações para abastecimento do Parque Empresarial Baía do Tejo.



### 5.5. Base de Dados do LNEG

Na base de dados do LNEG constam 31 relatórios de sondagens de pesquisa e captação de água subterrânea relevantes para o estudo, realizados pelas empresas A. Cavaco, Lda., Teixeira Duarte, Lda. e Personda, S.A, entre 1957 e 1984, localizadas nos concelhos do Barreiro, Seixal e Moita, para prospeção e possível exploração de água. Estas sondagens contêm informações acerca da sua localização através de coordenadas M e P (sistema de coordenadas *Lisboa Hayford Gauss IGeoE*) e da carta militar; de dados técnicos das captações de água para abastecimento público, dados litológicos e de exploração, nomeadamente, os caudais de exploração e o posicionamento dos níveis hidrostáticos (NHE) e hidrodinâmicos (NHD) à data de abertura dos furos. A profundidade das sondagens varia entre os 220 e 602 m, captando principalmente nas camadas da base do Pliocénico e nas biocalcareníicas do Miocénico.

Foram também recolhidas as localizações de 12 pontos de água menos profundos, entre os 7 e os 87,2 m de profundidade, com as respetivas cotas do terreno, níveis hidrostáticos (NHE) à data de abertura dos furos e potencial hidráulico.

Dos 43 relatórios de sondagens e pontos de água recolhidos, 23 estão incluídos na área de modelação numérica de fluxo subterrâneo.

Para a obtenção da superfície basal do Pliocénico, foram utilizadas mais 86 sondagens que continham essa informação, localizadas nas cartas militares 432 - Montijo, 442 - Barreiro, 443 - Moita e 454 - Setúbal (Figura 5.8).

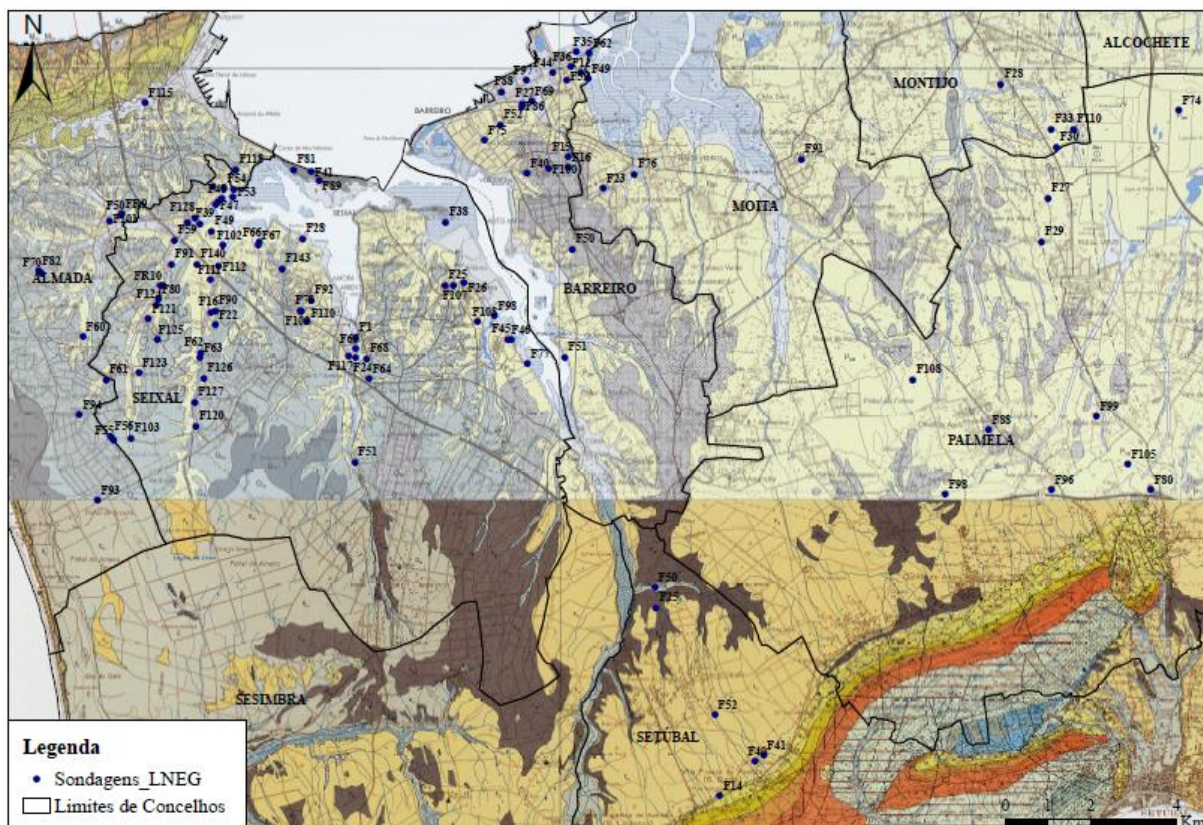


Figura 5.8: Localização das sondagens da base de dados do LNEG utilizadas neste estudo.

## 5. DADOS RECOLHIDOS

---

## 6. ANÁLISE HIDROQUÍMICA: CLORETOS

O estudo da composição físico-química das águas subterrâneas é relevante para definir e limitar unidades aquíferas, detetar áreas de recarga e descarga, comprovar direções e sentidos de escoamento, reconhecer fenómenos modificadores e ocorrência de poluição, para além de contribuir para a sua utilização racional (consumo humano, agrícola, industrial, desportivo e recreativo) (SIMÕES, 1998).

A intrusão salina é um fenómeno, natural ou provocado pela ação do homem, que pode assumir proporções inevitáveis em consequência da sobreexploração dos aquíferos costeiros ou através de captações mal construídas, modificando a composição físico-química das águas.

O cloreto é geralmente dos iões mais estáveis nos aquíferos, bastante solúvel e de difícil precipitação, está presente em elevada quantidade em águas marinhas, sendo o principal indicador de contaminação por intrusão salina. Assim, o enriquecimento deste ião em água doce e de iões alcalinoterrosos em água marinha ou estuarina pode indicar este tipo de fenómenos, dado que estas comportam um maior teor em sais.

As águas subterrâneas da Bacia do Baixo-Tejo, quando livres de perturbações, possuem entre 30 mg/l e 40 mg/l de cloretos, sendo que valores superiores poderão indicar ações modificadoras da qualidade das águas, como intrusão marinha e poluição. No município do Barreiro, o cloreto presente na água subterrânea foi representado estatisticamente com dados de captações destinadas ao abastecimento público da Câmara Municipal do Barreiro e do Parque Empresarial Baía do Tejo que constam no anexo 4 (Tabela 6.1 e Figura 6.1).

Tabela 6.1: Tabela representativa da concentração de cloreto máxima, mínima, média, mediana e da dispersão nas captações destinadas ao abastecimento público do município do Barreiro, entre 2012 e 2020.

	Cloreto (mg/l)				
	min.	máx.	média	Mediana	desvio padrão
<b>AC3</b>	16,0	330,0	38,2	28,0	46,6
<b>AC5</b>	10,0	49,0	32,1	33,8	9,3
<b>AC6</b>	21,0	132,5	37,7	34,0	18,4
<b>FR1</b>	13,0	340,0	132,6	130,0	75,0
<b>FR3</b>	15,0	130,0	29,8	25,0	18,0
<b>FR4</b>	30,0	265,8	46,6	37,0	35,8
<b>FR5</b>	10,0	130,0	32,7	26,7	22,0
<b>FR6</b>	19,0	110,0	32,0	29,0	14,2
<b>FR7</b>	13,0	70,0	28,4	25,0	11,4
<b>FR8</b>	20,0	130,0	37,1	33,1	16,5
<b>RA1</b>	8,0	140,0	45,9	37,3	26,9
<b>RA2</b>	15,0	40,0	24,6	25,0	6,2
<b>F5</b>	42,0	50,0	45,0	43,5	3,3
<b>F7</b>	70,0	74,0	72,0	72,0	2,0
<b>F10</b>	28,0	30,0	29,3	30,0	0,9
<b>F12</b>	55,0	69,0	60,0	56,0	6,4

## 6. ANÁLISE HIDROGEOQÍMICA: CLORETOS

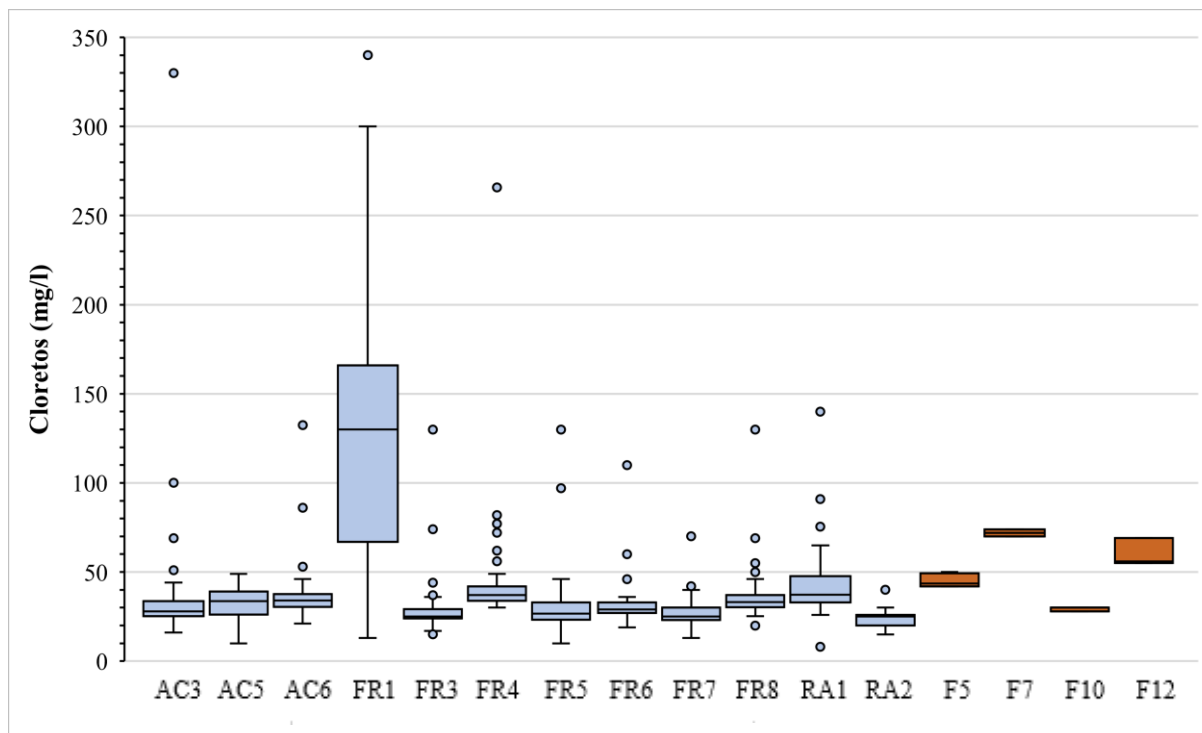


Figura 6.1: Gráfico Box-Plot representativo da concentração de cloreto em cada captação, sendo que as representadas a azul pertencem à Câmara Municipal do Barreiro e as representadas a laranja ao Parque Empresarial Baía do Tejo.

Geralmente, nas captações da Câmara Municipal do Barreiro, a concentração de cloreto varia entre 25 mg/l e 37,3 mg/l, à exceção da FR1, com 130 mg/l de cloretos, e nas do Parque Empresarial Baía do Tejo varia entre 30 e 72 mg/l. Apesar da mediana tender para concentrações de cloreto expectáveis para o município, estes valores são ultrapassados em todas as captações, à exceção das AC5, F5 e F10.

Para avaliar concentração de cloreto (mg/l) em profundidade, realizaram-se gráficos de barras com valores medianos e médios, subdivididos em quatro classes consoante a profundidade de captação (Figura 6.2).

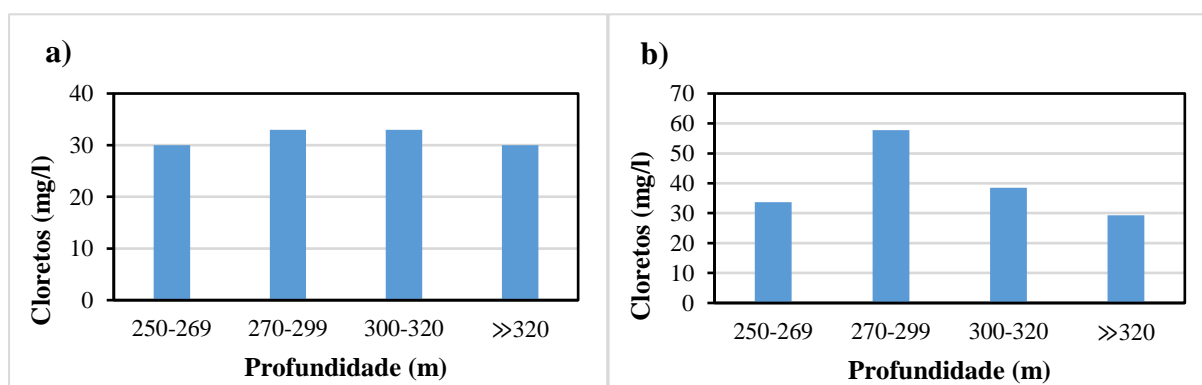


Figura 6.2: Distribuição da concentração de cloreto (mg/l) relativamente à profundidade de captação, em que o gráfico a) representa a mediana e o b) a média.

O gráfico que representa a mediana mostra que, em regime de equilíbrio do aquífero semiconfinado, a concentração de cloreto nas captações do município do Barreiro e do Parque Empresarial Baía do Tejo não varia consoante a profundidade da captação, mantendo-se com cerca de 30 mg/l. Por outro lado, o gráfico que representa a média da concentração de cloreto mostra um valor mais elevado para captações entre 270 m e 299 m de profundidade pelo facto de a profundidade de

captação da F7, F12 e principalmente da FR1 pertencerem a esse intervalo, contribuindo com concentrações superiores comparativamente às restantes captações, e consequentemente, evidenciando desequilíbrios no sistema (Figura 6.2).

Para avaliar a evolução da concentração de cloreto ao longo do tempo representou-se graficamente a concentração de cloreto, em mg/l, e as respetivas retas de tendência em cada captação da Câmara Municipal do Barreiro e do Parque Empresarial Baía do Tejo, entre 2012 e 2020. Para além disso, projetou-se o valor máximo recomendado (VMR) e o valor paramétrico (VP) dos cloretos para águas subterrâneas destinadas a produção de água para consumo humano (Figura 6.3). Segundo o Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de agosto, o valor máximo recomendado (VMR) para os cloretos é de 200 mg/l para águas subterrâneas destinadas a produção de água para consumo humano, e, segundo o Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro, o valor paramétrico (VP) para os cloretos é de 250 mg/l.

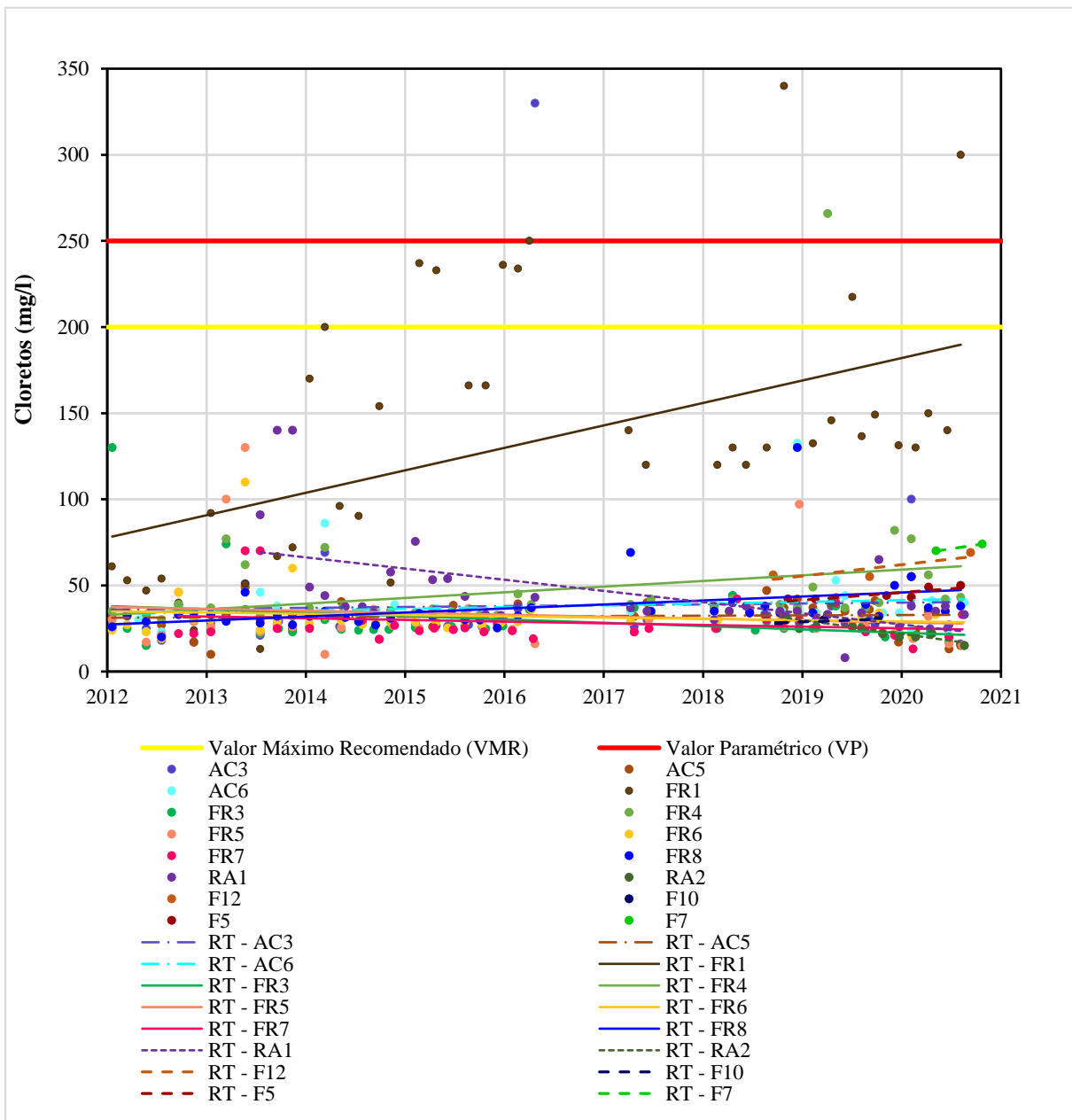


Figura 6.3: Representação da concentração de cloretos (mg/l) e respetivas retas de tendência em cada captação do município do Barreiro ao longo do tempo, entre 2012 e 2020.

## 6. ANÁLISE HIDROGEOQUÍMICA: CLORETOS

De modo geral, a tendência da concentração de cloreto entre 2012 e 2020 é aproximadamente constante, próxima dos valores expectáveis para o Barreiro. A tendência da captação RA1 aparenta ser decrescente, no entanto, analisando em pormenor, verifica-se que as três primeiras leituras, em 2013, têm valores mais elevados comparativamente com os restantes que se encontram aproximadamente constantes, o que pode sugerir que as primeiras leituras tiveram algum problema na amostragem ou possível contaminação inerente à furação. Os cloretos tendem a aumentar ligeiramente nas captações FR4, FR8, F5 e F12, contudo, a FR1 mostra um aumento bastante mais acentuado e acima do expectável comparativamente com as restantes captações, indicando concentrações de cloreto bastante irregulares.

Ao longo do tempo, verifica-se também uma dispersão significativa nos valores de cloreto relativamente ao expectável, valores esses que, por vezes, atingiram ou ultrapassaram o VMR e o VP para águas subterrâneas destinadas a produção de água para consumo humano. Na captação AC3, o VP foi ultrapassado em abril de 2016, na FR4 foi ultrapassado em abril de 2019, e na FR1 atingiu o VMR em março de 2014, ultrapassou-o em cinco amostragens, entre 2015 e 2016 e em 2019, atingiu o VP em abril de 2016, e ultrapassou-o em agosto de 2020 (Anexo 5).

Para a distribuição espacial de cloretos no município do Barreiro, foram considerados dois cenários (Figura 6.4):

- Cenário em que a captação FR1 não é considerada por ter valores de cloreto anómalos;
- Cenário em que a captação FR1 é considerada.

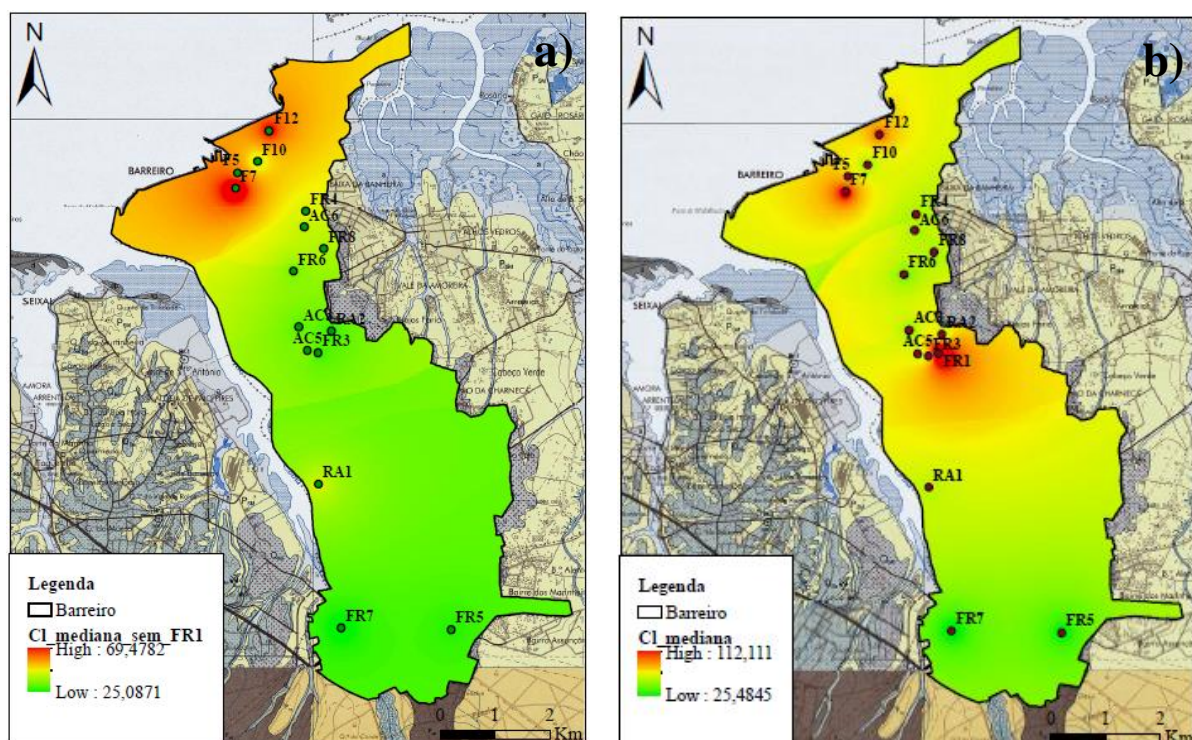


Figura 6.4: Distribuição espacial da concentração de cloretos (mg/l) no município do Barreiro considerando os dois cenários, interpolada com a mediana de cloretos em cada captação pelo método Inverso da Distância, recorrendo ao software ArcGIS 10.7.1.

No cenário em que a captação FR1 não é considerada, verificam-se concentrações de cloreto mais elevadas a norte do Barreiro, junto ao estuário do Tejo, diminuindo para sul, e variando entre 25,1 e 69,5 mg/l. Este seria um cenário possível, caso não ocorressem problemas nesta captação, pois as que se encontram em redor têm concentrações de cloreto semelhantes e dentro dos valores expectáveis para a região.

---

No cenário em que a captação FR1 é considerada, as concentrações de cloreto mais baixas encontram-se a sul do município, e as mais elevadas encontram-se em FR1, junto à ribeira da Moita, e a norte, junto ao estuário do Tejo, variando entre 25,5 e 112,1 mg/l. Neste cenário, foram também interpoladas as concentrações mínimas, máximas e médias para o Barreiro, consoante os valores de cada captação, pelo método Inverso da Distância, recorrendo ao software ArcGIS 10.7.1. (Anexo 6), tendo-se obtido concentrações mínimas de 8 a 69,7 mg/l, máximas de 33,4 a 301,6 mg/l, e médias semelhantes à mediana, de 28,9 a 114,9 mg/l. Este cenário mostra duas zonas de entrada de água com concentração elevada de cloreto problemáticas, alertando para uma possível vulnerabilidade do sistema aquífero associada à frente estuarina e às ribeiras associadas à mesma.

A coluna litológica da captação FR1 indica que é uma captação em meio detrítico, com reduzida percentagem de sedimentação argilosa, permitindo a ocorrência de comunicação hidráulica com o estuário. A proximidade com a ribeira da Moita (ciclo de marés) e a possibilidade de ocorrência de problemas na impermeabilização da captação por envelhecimento da mesma, nomeadamente, assentamentos posteriores, corrosão ou ruturas, podem provocar mistura com águas mais superficiais, colocando água do aquífero superficial em comunicação hidráulica com a água do aquífero semiconfinado.

Em regime de equilíbrio do aquífero semiconfinado, a concentração de cloreto mantém-se estável no tempo e no espaço, ocorrendo apenas uma evolução na composição da água consoante o tempo de permanência dos cloretos no aquífero, contudo, a análise estatística, temporal, espacial e em profundidade dos dados de captações destinadas ao abastecimento público da Câmara Municipal do Barreiro e do Parque Empresarial Baía do Tejo permitiram verificar que existem desequilíbrios no sistema. Neste caso, é provável que ocorra uma alteração no regime de exploração por sobreexploração ou sobreposição do efeito de extração de captações próximas, em que é exercida uma forte pressão no aquífero semiconfinado, que leva a um rebaixamento muito acentuado do nível hidrodinâmico, gerando uma grande diferença de carga hidráulica entre o aquífero semiconfinado e o superior livre. Posto isto, a zona de chamada da captação pode aumentar, variando no tempo e no espaço de forma diferente, e conseqüentemente, provocar mistura de água de diferentes proveniências, principalmente do aquífero superior livre com o aquífero semiconfinado por drenância do aquífero superior, alterando a composição da água. Quando isto acontece, o bombeamento é interrompido durante algum tempo e é iniciado noutra captação, até que a anterior estabilize a composição da água, sendo essa a razão pela qual aparecem alguns valores acima do expectável num determinado período, que posteriormente estabilizam. Para além disso, a maioria desses valores concentram-se entre os meses de março e julho, que correspondem às estações de primavera e verão, onde pode haver uma maior pressão sobre o aquífero. No caso da FR1, a captação salinizou, sendo este um fenómeno irreversível.

Assim, a análise hidroquímica dos cloretos no município do Barreiro indica que ocorre um fenómeno de intrusão salina em que o aquífero superior alimenta o aquífero semiconfinado por drenância sempre que este é solicitado.

## 6. ANÁLISE HIDROGEOQÍMICA: CLORETOS

---



## 7. MODELO GEOLÓGICO

De modo a caracterizar a geologia da região em estudo, interpretaram-se e correlacionaram-se as descrições das colunas litológicas das sondagens de pesquisa e captação de água subterrânea a fim de realizar cinco perfis geológicos, quatro transversais relativamente ao município do Barreiro, localizados na carta geológica 34-D, e um longitudinal que contém informação desde o estuário do Tejo até à Serra da Arrábida, atravessando duas cartas geológicas, 34-D e 38-B (Figura 7.1). Os perfis geológicos foram concebidos com recurso ao software de desenho AutoCAD.

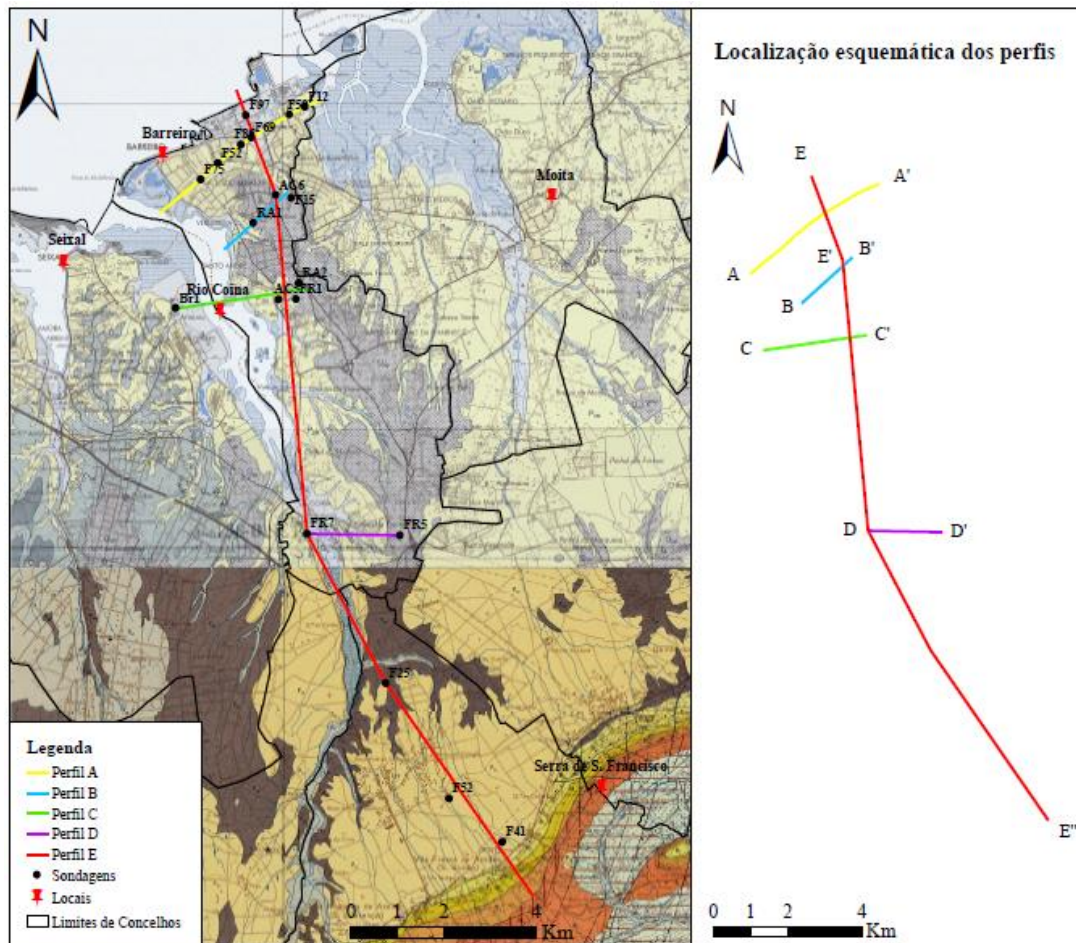


Figura 7.1: Localização dos perfis geológicos e sondagens utilizadas na caracterização geológica da área em estudo.

O perfil A, com orientação SW-NE, intercepa sondagens na zona sul do Parque Empresarial do Barreiro, relativamente próximas do estuário, com profundidades entre 225 e 597 m, que atravessam formações desde o Holocénico até ao Miocénico inferior (Figura 7.2).

## 7. MODELO GEOLÓGICO

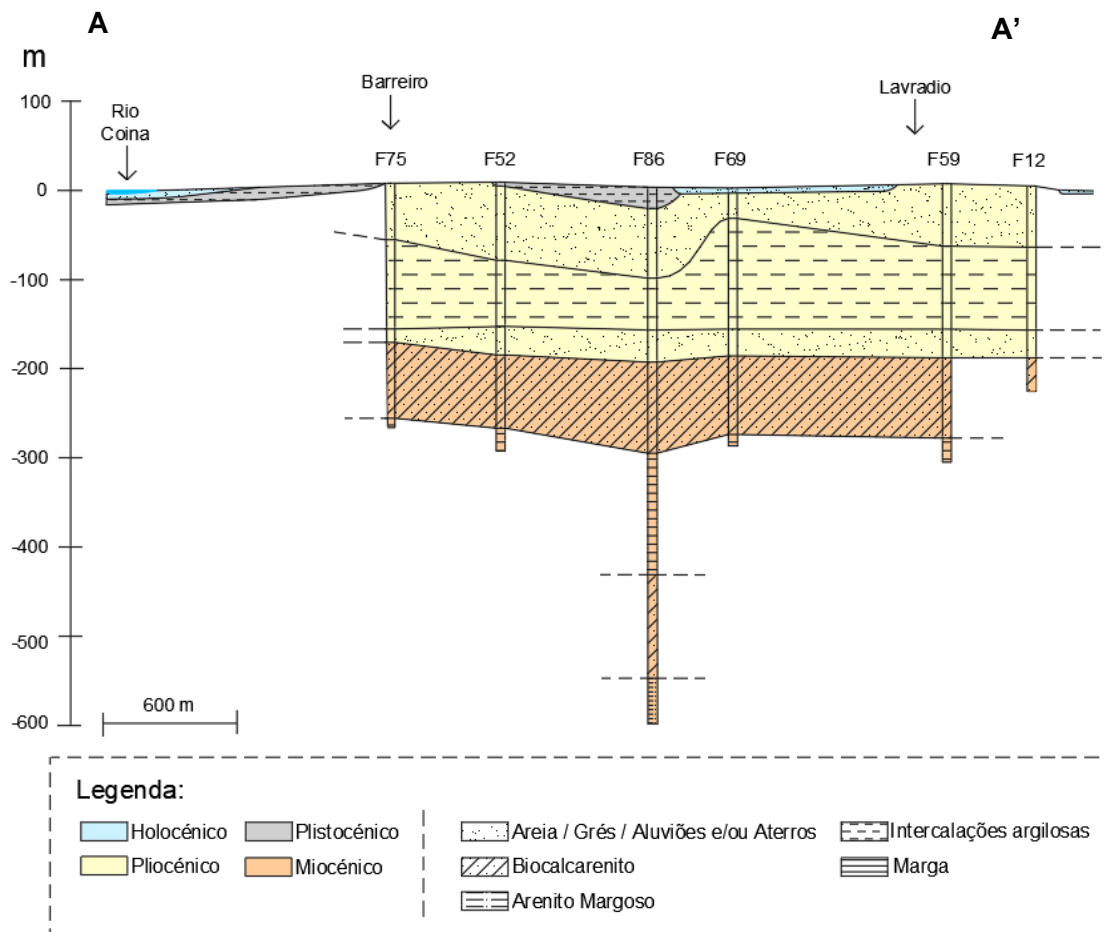


Figura 7.2: Perfil geológico A: desde o rio Coina aos baixios do estuário na Moita, atravessando a zona sul do PEB.

As “Aluviões e/ou materiais de aterro”, de idade holocénica, afloram junto ao rio Coina, na sondagem F69 e arredores da mesma e a oeste da sondagem F12, depositam-se sub-horizontalmente a cotas mais baixas sobre os sedimentos plistocénicos da formação de Marco Furado ou sobre os sedimentos pliocénicos da formação de Santa Marta, dependendo dos locais, com uma espessura máxima de 4 m. Estas são constituídas por areias, por vezes argilosas, de cor castanha ou cinzenta amarelada, com vestígios vegetais, e materiais de aterro no topo da formação.

A “Formação de Marco Furado”, de idade plistocénica, aflora na zona do Barreiro e na zona central do perfil, é intercetada pelas sondagens F52 e F86 e assenta sub-horizontalmente sobre as areias pliocénicas, atingindo uma espessura máxima de 24 m. É constituída por argilas e areias de granularidade fina a grosseira castanhas ou amarelas avermelhadas, por vezes com seixos.

O Pliocénico que aflora na restante área do perfil corresponde à “Formação de Santa Marta”, constituída por areias finas a grosseiras pouco consolidadas, por vezes com seixos, de cor amarela ou castanha clara, e esporadicamente, acinzentada ou esbranquiçada, sendo contínua e sub-horizontal ao longo do perfil, com uma espessura que varia de 172 a 195 m. Contudo, apresenta uma unidade argilosa, igualmente de carácter contínuo, com 60 a 124 m de espessura, de cor castanha esverdeada, avermelhada, acinzentada ou amarelada, por vezes com seixos, sendo composta por argilas, areias argilosas e algumas intercalações arenosas de espessura variável. As sondagens deste perfil intercetam o topo desta unidade argilosa a profundidades que variam entre 31 e 96 m, e a base da mesma a 155 m de profundidade, aproximadamente.

Os sedimentos pliocénicos assentam sobre o Miocénico, marcado pelo aparecimento de depósitos com fração carbonatada. Neste perfil, apenas a sondagem F86 interceta formações até ao Miocénico inferior. Os depósitos do Miocénico superior a médio são constituídos por biocalcarenitos com

intercalações de marga, argila, areia e calcário, de cor castanha esverdeada ou acinzentada, amarela ou cinzenta, e por margas arenosas cinzentas com pequenas intercalações de biocalcarenito fino. COTTER (1956) descreve calcarenitos semelhantes, incluindo-os nas divisões V a VII, sendo possível que os biocalcarenitos neste local sejam equivalentes laterais dos “Calcários de Marvila e Grés dos Grilos indiferenciados” e as margas arenosas das “Argilas azuis de Xabregas”, ambos da divisão VI de Cotter (SIMÕES, 1998). Os biocalcarenitos, intercetados por todas as sondagens, apresentam uma espessura relativamente constante de aproximadamente 85 m, à exceção do que se verifica na sondagem F86, com uma espessura de 102 m, sendo que a sua base atinge profundidades entre 255 e 294 m. A base das margas arenosas está a 430 m de profundidade na sondagem F86, com uma espessura de 136 m. Os depósitos do Miocénico inferior são constituídos por biocalcarenitos finos de cor cinzenta e acastanhada com intercalações de areia margosa, marga e calcário com 2 m de espessura, e por arenitos margosos cinzentos com conchas.

Os biocalcarenitos que se encontram entre 430 e 546 m de profundidade possivelmente são equivalentes laterais dos “Calcários de Entrecampos (“Banco Real”) e das “Areolas de Avenida da Estefânia”, das divisões III e II de Cotter, respetivamente, e os arenitos margosos das “Argilas de Prazeres”, da divisão I de Cotter. Na sondagem F86, não é possível diferenciar as duas primeiras formações desta sequência, no entanto, é provável que o “Banco Real” ocorra entre 482 e 504 m de profundidade.

O perfil B, com orientação SW-NE, interceta sondagens paralelamente ao perfil A, com profundidades entre 249 e 282 m, que atravessam formações desde o Plistocénico até ao Miocénico superior a médio (Figura 7.3).

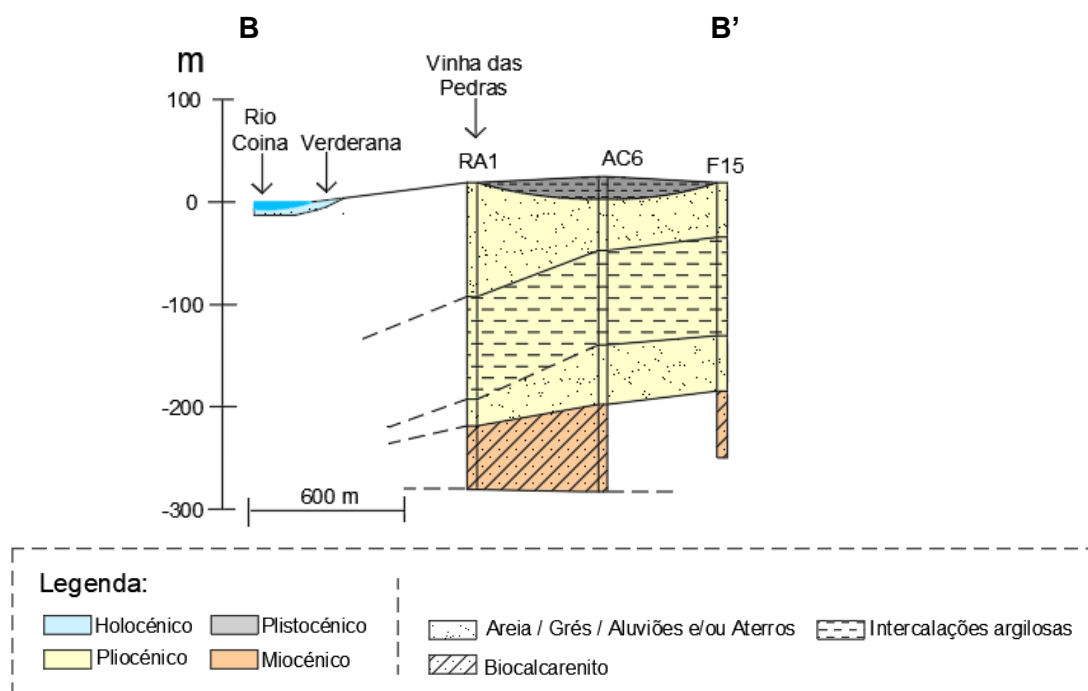


Figura 7.3: Perfil geológico B.

Os sedimentos pliocénicos afloram entre as sondagens RA1 e F15, não inclusive, e são intercetados apenas pela sondagem AC6 com uma espessura máxima de 22 m. São constituídos por argilas arenosas acastanhadas, por vezes com seixos, e areias de granularidade fina a média castanhas.

O Pliocénico que aflora na restante área do perfil apresenta características idênticas ao descrito no perfil anterior, no entanto, com cor mais esbranquiçada, e com espessura a variar entre 200 e 238 m, aumentando ligeiramente para SW. O aparecimento de seixos na unidade argilosa é bastante esporádico.

## 7. MODELO GEOLÓGICO

As sondagens deste perfil intercetam o topo desta unidade argilosa a profundidades que variam entre 34 e 92 m, e a base da mesma entre 130 e 192 m de profundidade, apresentando uma espessura de 92 a 100 m.

Os depósitos miocénicos são compostos por biocalcarenitos do Miocénico superior a médio, idênticos aos descritos no perfil anterior, contudo, de cor castanha acinzentada, amarela ou cinzenta, com intercalações de areia argilosa com fragmentos de conchas acastanhadas ou amareladas. A espessura representada no perfil não é representativa da espessura real da formação neste local, pois as sondagens não a atravessam na sua totalidade.

O perfil C, com orientação WSW-ENE, interceta sondagens a sul do perfil B, com profundidades entre 258 e 3611 m, que atravessam formações desde o Plistocénico até ao Jurássico médio, no entanto, as formações de maior interesse para este estudo são apenas as que ocorrem até à base do Miocénico inferior (Figura 7.4).

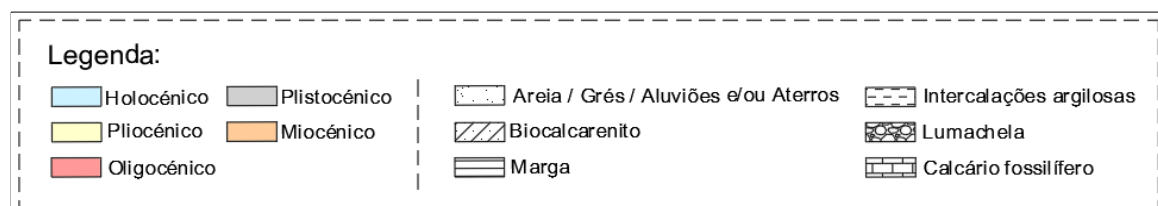
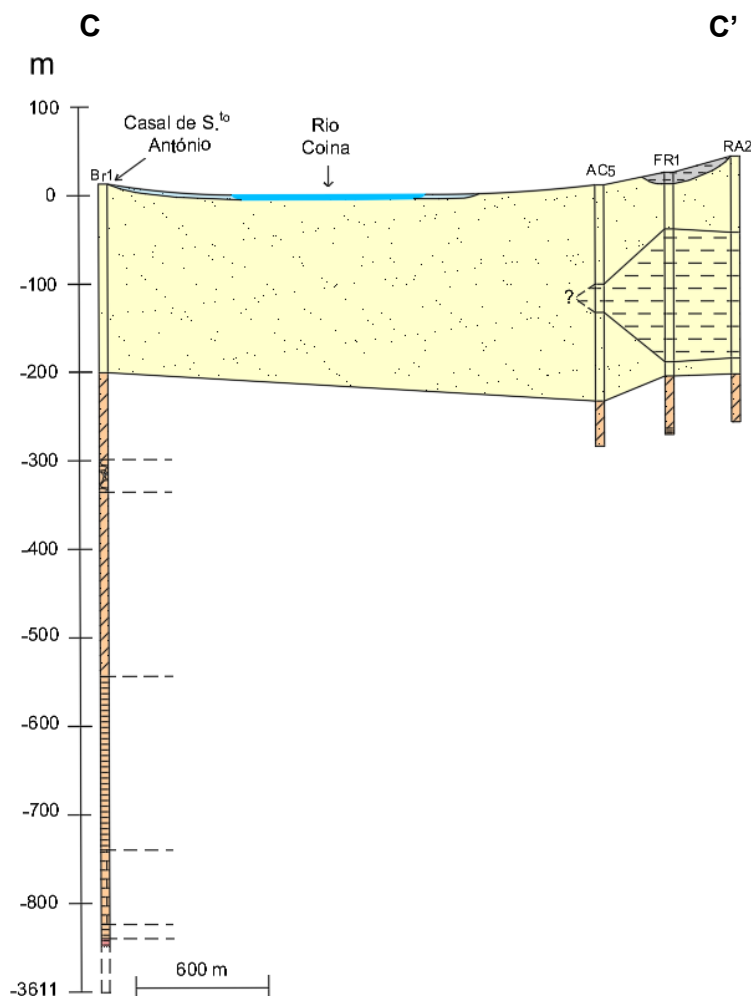


Figura 7.4: Perfil geológico C.

Os sedimentos plistocénicos, constituídos por areia fina amarelada e argila avermelhada, são intercetados apenas pela sondagem FR1, atingindo uma espessura máxima de 13 m.

O Pliocénico apresenta características semelhantes ao descrito no perfil A, contudo, não ocorrem seixos. As areias têm intercalações de argila arenosa em AC5 e FR1 e passam de amarelas a esbranquiçadas em profundidade. Na sondagem Br1 apresentam uma componente arcósica com intercalações de detritos calcários na base. A espessura varia de 203 a 246 m, sendo menos espessa a WSW. Neste perfil, a unidade mais argilosa é de tipo lenticular, desaparece para WSW, atingindo uma espessura máxima de 142 m em FR1. As sondagens AC5, FR1 e RA2 intercetam o topo desta unidade aos 102, 40 e 44 m de profundidade, respetivamente, e a base aos 134, 190 e 186 m, respetivamente.

Os depósitos miocénicos são constituídos por biocalcarenitos e margas do Miocénico superior a médio, que podem ser equivalentes laterais dos “Calcários de Marvila e Grés dos Grilos indiferenciados” e das “Argilas azuis de Xabregas”, respetivamente, e calcários e margas do Miocénico médio a inferior, sendo que os calcários podem ser equivalentes laterais dos “Calcários de Entrecampos (“Banco Real”)” e das “Areolas de Avenida da Estefânia”, das divisões III e II de Cotter, respetivamente, e as margas das “Argilas de Prazeres”, da divisão I de Cotter. Os biocalcarenitos têm granularidade fina a média, cor cinzenta, amarela, esbranquiçada ou acastanhada, com alternância de arenito margoso, calcário arenoso por vezes fossilífero, lumachela, marga arenosa micácea e marga calcária fossilífera. Na sondagem Br1, a lumachela ocorre entre 298 e 335 m de profundidade com uma espessura de 37 m. Estes apresentam uma espessura de 59 a 343 m, com base entre 289 e 543 m de profundidade. As margas cinzentas escuras do Miocénico superior a médio são arenosas, tornando-se micáceas e posteriormente calcárias de cor cinzenta esverdeada com o aumento da profundidade, apresentando intercalações calcárias e de lumachela. Estas têm espessura de 196 m, com base aos 739 m de profundidade. Os calcários fossilíferos têm cor cinzenta clara, amarelada ou esbranquiçada, por vezes arenosos, com alternância de arenito grosseiro a conglomerado calcário ou margoso, e apresentam uma espessura de 84 m, com base aos 823 m de profundidade. As margas do Miocénico inferior, que correspondem à base do Miocénico e assentam sobre o Oligocénico, são cinzentas, arenosas e fossilíferas, apresentando uma espessura de 16 m e base aos 839 m de profundidade.

O perfil D, com orientação W-E, interceta sondagens na zona sul do município do Barreiro, com profundidades entre os 287 e os 216 m, que atravessam formações desde o Plistocénico até ao Miocénico superior a médio (Figura 7.5).

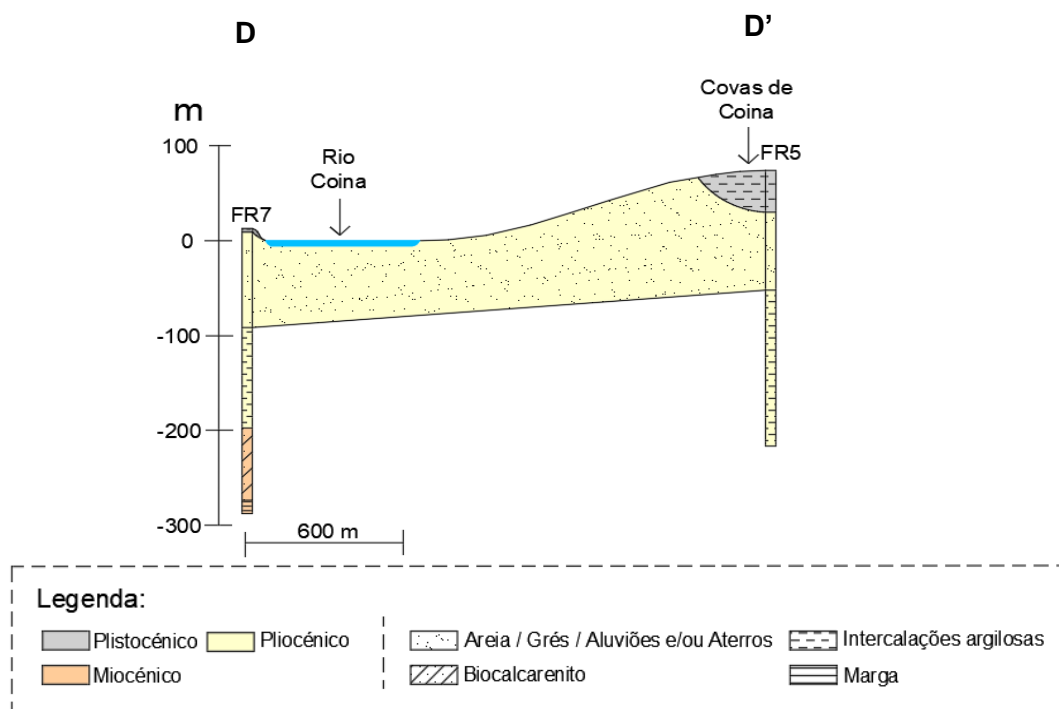


Figura 7.5: Perfil geológico D.

## 7. MODELO GEOLÓGICO

A formação pliocénica, idêntica à descrita no perfil A, aflora não só a oeste do Rio Coina, interceptada pela sondagem FR7 aos 9 m de cota, com uma espessura de 4 m, mas também na zona de Covas de Coina, interceptada pela sondagem FR5 à cota de 30 m, atingindo uma espessura máxima de 44 m.

O Pliocénico que aflora na restante área do perfil corresponde à mesma formação pliocénica presente nos perfis anteriores, no entanto, é constituída por areias finas a médias pouco consolidadas de cor amarela e esbranquiçada, com alternância de argilas amarelas, castanhas, avermelhadas e acinzentadas. A unidade argilosa é mais acinzentada que a descrita no perfil A, contendo areia margosa muito esporadicamente. O topo desta unidade é interceptado pelas sondagens FR7 e FR5 a 91 e 52 m de profundidade, respetivamente, e a base apenas é interceptada por FR7 a 197 m de profundidade. A espessura desta unidade é de 100 m a oeste do Rio Coina, contudo, apenas se sabe que aumenta para a zona este.

Os depósitos miocénicos, interceptados pela sondagem FR7, possivelmente correspondem às mesmas formações do Miocénico superior a médio descritas no perfil A, sendo constituídas por biocalcarenitos esbranquiçados e marga gresosa acinzentada. A base dos biocalcarenitos está a 273 m de profundidade, com uma espessura de 76 m e a espessura das margas não foi totalmente atravessada pela sondagem.

O perfil E apresenta três direções distintas: NNW-SSE de E a E', N-S de E' a D e NW-SE de D a E''. Este intercepta sondagens desde a zona norte do Barreiro até à Serra da Arrábida, com profundidades entre os 30 e os 287 m, que atravessam formações desde o Holocénico até ao Miocénico superior a médio (Figura 7.6).

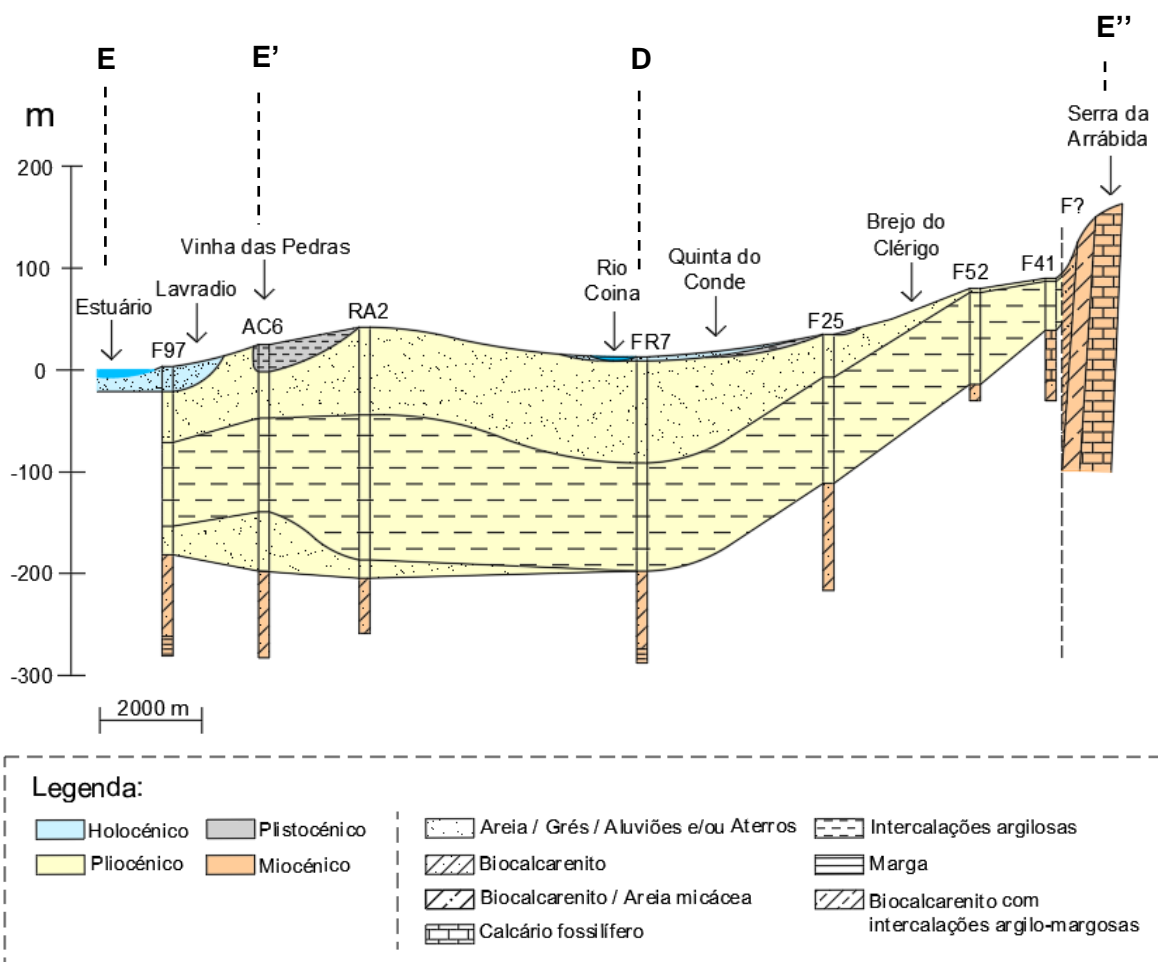


Figura 7.6: Perfil geológico E: desde o estuário do Tejo até ao flanco norte da Serra da Arrábida.

---

Os depósitos holocénicos são intersetados pela sondagem F97, aflorando desde a zona norte do Barreiro, junto ao estuário do Tejo, até ao Lavradio, e mais a sul do município são intercetados pela sondagem FR7, aflorando também na sua periferia. Esta formação é bastante idêntica à descrita no perfil A, contudo, pode conter alguns seixos e apresenta espessura máxima de 24 m a norte do Barreiro.

O Plistocénico, idêntico ao descrito no perfil A, é intercetado pela sondagem AC6, tem uma espessura máxima de 22 m, aflora desde Vinha das Pedras até à sondagem RA2, não inclusive, e também mais a sul, na periferia da sondagem F25.

Os depósitos pliocénicos que afloram na restante área do perfil têm uma constituição idêntica aos do perfil A, no entanto, a sua espessura diminui bastante para SE, variando de 51 a 246 m. A unidade mais argilosa tem uma espessura que varia entre 48 e 142 m, o topo da mesma é intercetado pelas sondagens a cotas que variam entre os 69 e os -91 m, e a base da mesma entre 39 e -197 m. A NNW, esta unidade assenta nas areias pliocénicas, e, na sondagem FR7, assim como a SE da mesma, assenta no Miocénico.

Os biocalcarenitos e margas do Miocénico superior a médio intercetado pelas sondagens são idênticos aos do perfil A, contudo, em F97, as margas também apresentam conchas e intercalações de argila arenosa. As sondagens F97 e FR7 intersetam a base dos calcarenitos a 261 e 273 m de profundidade, respetivamente, e espessura de 80 e 75 m, respetivamente. A espessura dos biocalcarenitos é variável, apesar de as restantes sondagens não a intersetarem na sua totalidade, pois a espessura em AC6 e F25 é superior (85 e 105 m, respetivamente). É de notar que, a fração carbonatada aumenta para SE, com maior evidência em F41, e que os calcários que surgem nesta sondagem pertencem à mesma formação que os biocalcarenitos referidos anteriormente, apresentando intercalações margosas.

Na Serra da Arrábida, afloram três formações miocénicas: “Areias de Quinta da Torre”, constituídas por biocalcarenitos que passam a areias finas micáceas, e que provavelmente pertencem à divisão Va3 de Cotter; “Argilitos e margas de Azeitão”, constituídos por biocalcarenitos com intercalações argilomargosas, incluídos por COTTER (1956) nas divisões II, III e IVb; e “Calcários margosos de Palhavã”, constituídos por calcários fossilíferos, incluídos na divisão I. As duas primeiras sequências inclinam 40° para NW, enquanto que a última inclina 50° para NW, contactando com as formações do Pliocénico e Miocénico superior a médio através de uma possível falha que poderá ter provocado a subida das formações miocénicas mais inferiores.

O limite que separa o Pliocénico do Miocénico é marcado pelo aparecimento de depósitos com fração carbonatada, e por isso, é o mais facilmente reconhecido nas sondagens, mergulhando para leste no município do Barreiro. Esta superfície (Figura 7.7) evidencia uma depressão mais a norte da Península de Setúbal, alongada na direção NE-SW, que engloba os municípios do Seixal, Barreiro Moita, e possivelmente, o Montijo, e outra situada a SSW de Pinhal Novo e a NW de Palmela que, segundo MONIZ (2010), se trata de uma deformação em sinforma de idade terciária (provavelmente miocénica), com 225 m de profundidade. Na ribeira do Judeu, a superfície desce bruscamente para profundidades de 110 a 135 m, mantendo essa tendência para leste. Verifica-se um desnível entre as duas margens da ribeira de Coina, passando de 150 m na margem esquerda, aproximadamente, para cerca de 180 m na margem direita, desnível esse, segundo AZEVEDO (1983), provocado por um acidente tectónico existente ao longo da ribeira. A superfície basal do pliocénico mantém a sua tendência descendente para leste, atingindo maiores profundidades na zona meridional do Barreiro e na Moita, com 230-235 m, sendo que a partir daí tende a subir até à zona da falha do Pinhal Novo - Alcochete. MONIZ (2010) sugere que a subida da superfície em direção à Cadeia da Arrábida é reforçada pela movimentação em retrocavalgamentos de orientação provável ENE-WSW, paralelos à Cadeia da Arrábida, a cerca de 4 km a norte de Vila Nogueira de Azeitão. É de notar que, a Figura 7.7 pode não

---

## 7. MODELO GEOLÓGICO

retratar as profundidades reais nos concelhos de Lisboa, Montijo, zona sul de Sesimbra, Setúbal e na Península de Tróia devido à escassez de dados nesses locais.

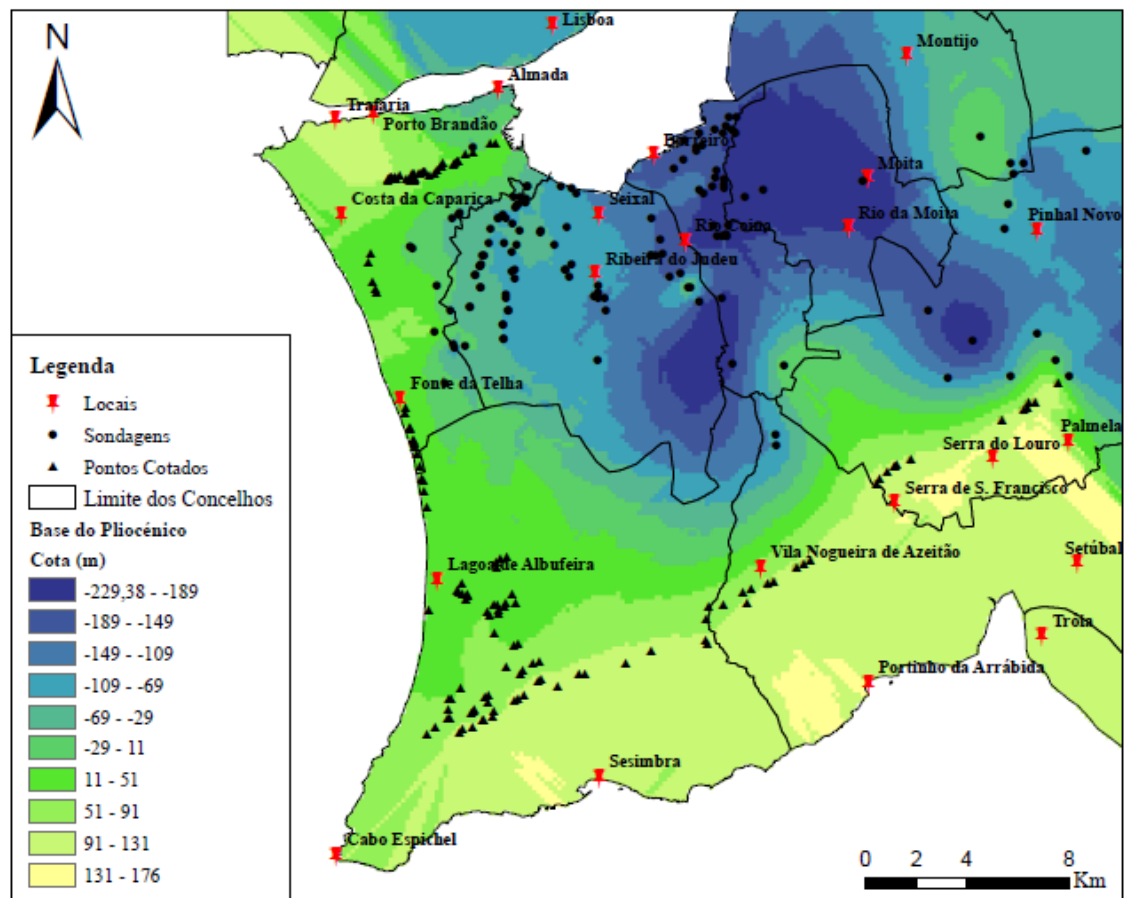


Figura 7.7: Representação da superfície basal do pliocénico, elaborada a partir de pontos cotados e da interpretação de sondagens de pesquisa e captação de água subterrânea. Interpolação através do método krigagem, recorrendo ao software ArcGIS 10.7.1.



## 8. MODELAÇÃO MATEMÁTICA

### 8.1. Modelo Hidrogeológico Conceptual

#### 8.1.1. Unidades Hidrogeológicas

O sistema aquífero do Tejo-Sado/Margem esquerda, é uma unidade hidrogeológica constituída por depósitos detríticos do Quaternário e Neogénico que formam diversas camadas porosas, geralmente confinadas ou semiconfinadas, e apresentam variações laterais e verticais de fácies litológicas que alteram significativamente as condições hidrogeológicas (ALMEIDA *et al.*, 2000).

A caracterização geológica da área em estudo permitiu verificar a existência de um sistema multicamada constituídos por três aquíferos, um superior livre instalado nas aluviões do Quaternário e nas areias do Pliocénico, um semiconfinado, instalado nas camadas da base do Pliocénico e nas camadas biocalcarenicas do Miocénico superior a médio, e um confinado, mais profundo e menos conhecido, nas camadas da base do Miocénico. Entre os aquíferos do Plio-Quaternário e o do Mio-Pliocénico, existe um nível arenoargiloso de permeabilidade mais reduzida que conecta com as duas unidades aquíferas, funcionando como aquitardo. Na base dos dois aquíferos confinados ocorre um nível argilomargoso que funciona como um aquícludo (Figura 8.1). Apesar de existirem poucas sondagens que permitam obter com exatidão os limites entre as unidades hidrogeológicas nos setores intermédio e sul da área de estudo, é possível realizar uma aproximação das profundidades a que estes se encontram e as respetivas espessuras através de interpolação, com a ferramenta “Topo to Raster” (*Spatial Analyst*) do *software* ArcGIS 10.7.1, que cria superfícies hidrologicamente mais corretas.

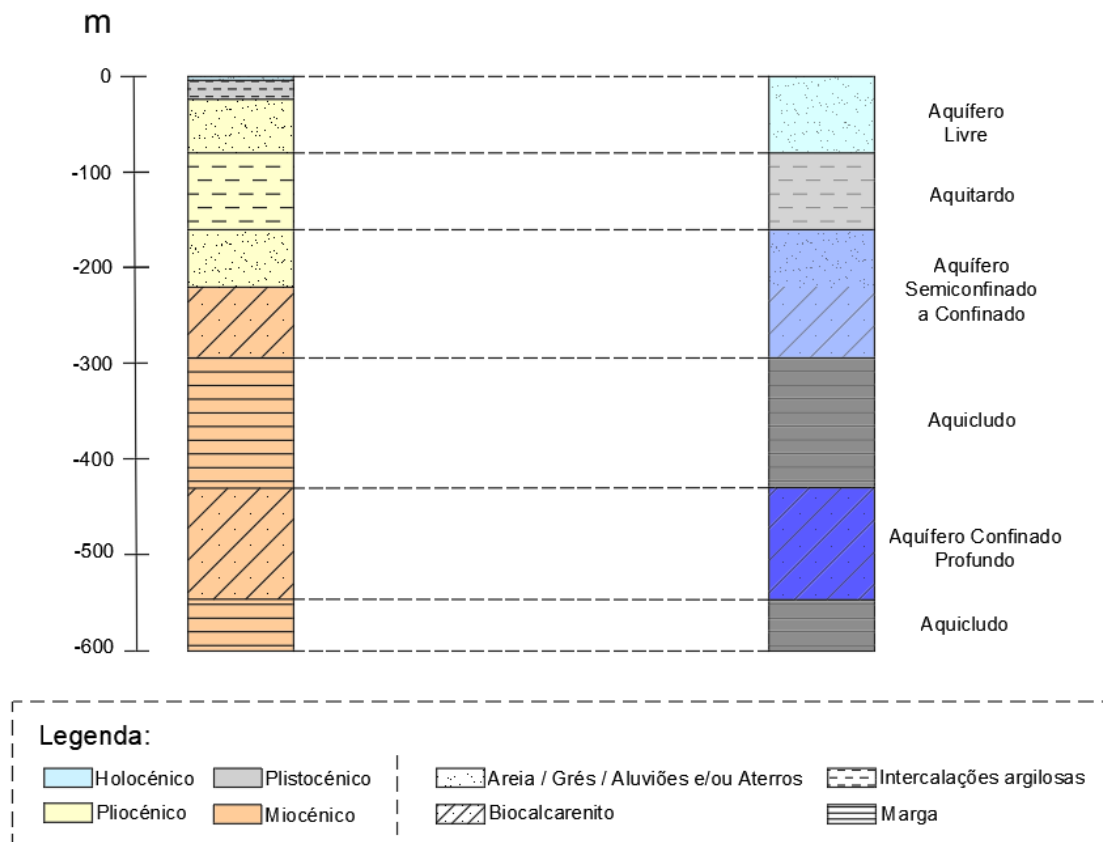


Figura 8.1: Correlação entre as unidades geológicas e hidrogeológicas, concebida com recurso ao software de desenho AutoCAD.

O aquífero superior livre é constituído essencialmente por areias não consolidadas pliocénicas da formação de Santa Marta com intercalações lenticulares argilosas, por vezes com aluviões do Quaternário no topo, contudo, esta unidade aquífera pode ser semiconfinada em determinados locais pelos depósitos arenargilosos do Plistocénico, pertencentes à formação de Marco Furado. O topo do aquífero corresponde à topografia da área de estudo, com cotas entre os 0 e os 66 m e a base ocorre entre os 10 e os -123 m de cota. A espessura oscila desde os 10 aos 139 m, atingindo valores maiores no setor intermédio da área de estudo, e valores menores no setor norte (em Verderena, Alto do Seixalino, Lavradio, Baixa da Banheira e Alhos Vedros), a oeste (sondagem F51), e a sul (sondagem F50) (Anexo 7). A espessura média das aluviões é cerca de 4 m, no entanto, verifica-se um aumento da mesma na frente ribeirinha, atingindo os 24 m. Os depósitos plistocénicos apresentam possanças entre os 44 e os 13 m.

O aquífero confinado é constituído essencialmente por níveis argilosos intercalados com níveis mais arenosos do Pliocénico, com base a variar entre os 71 e os 228 m de profundidade. As 33 sondagens localizadas na área de estudo evidenciam um nível argiloso praticamente contínuo no topo e na base do aquífero, contudo, existem duas sondagens onde esse nível não ocorre no topo (F86 e F10), seis sondagens onde não ocorre na base (F12, FR4, FR100, RA1, F23 e AC3) e duas sondagens onde não ocorre nem no topo, nem na base (F59 e F15). A espessura desta unidade oscila entre os 31 m e os 185 m, com valores mais baixos em AC5, diminuindo para oeste, e valores mais elevados entre o Alto do Seixalino, Lavradio e Baixa da Banheira (F5, F69 e FR4), em Alhos Vedros (F76), Vinha das Pedras (F100 e FR8) e Telha (AC3). Nos setores intermédio e sul da área de estudo, o aquífero é pouco espesso à exceção dos locais onde se encontram as sondagens F51 e F50 (Anexo 7). A sedimentação de finos ocorre em toda a área de estudo, permitindo o confinamento das camadas subjacentes.

O aquífero semiconfinado é constituído por camadas da base do Pliocénico e por depósitos marinhos de fração carbonatada do Miocénico superior a médio, nomeadamente biocalcarenítos com intercalações margosas, argilosas, arenosas e por vezes calcárias, com porosidade secundária controlada por fraturação e dissolução (ZEFERINO, 2016). A base desta unidade aquífera oscila entre os 200 e os 317 m de profundidade, e a espessura varia de 27 a 199 m, sendo maior onde se localiza a sondagem F10 e na região entre a Verderana e Alto do Seixalino, e menor em Vinha das Pedras, Quinta da Lomba, Telha e Vale do Trabuco, contudo, a espessura tende a aumentar para oeste na maior parte da área de estudo. Esta tendência é contrariada apenas na zona onde foi mencionado que a espessura era menor, assim como na região onde se localizam as sondagens FR5 e FR7. A espessura das areias argilosas pertencentes à base do Pliocénico varia entre 0 e 100 m, sendo menor na zona norte da área de estudo, com cerca de 30 m, aumenta para sul até atingir os 100 m na sondagem AC5, voltando a diminuir para sul da mesma, até desaparecer (Anexo 7).

Existe uma sequência essencialmente margosa que funciona como aquícludo, com base entre os 430 a 442 m de profundidade e espessura entre os 120 e os 136 m. Essa sequência separa o aquífero semiconfinado do aquífero confinado, mais profundo e menos conhecido, também multicamada, constituído pelas camadas biocalcareníticas da base do Miocénico, com base a 550 m de profundidade e com espessura entre os 108 e os 116 m. O aquícludo que se encontra na base do aquífero confinado mais profundo é intercetado na sua totalidade apenas pela sondagem Br1, a oeste do rio Coina, com 16 m de espessura e base a 839 m de profundidade, assentando nos depósitos do Oligocénico. Apesar de a sondagem F86 não intersetar a espessura do aquícludo na totalidade, verifica-se que tem pelo menos 50 m neste local.

A construção do modelo de fluxo subterrâneo não engloba o aquífero confinado mais profundo pelo facto de existirem apenas duas captações na área de estudo que o intersetam na totalidade (F10 e F86), o que não permite representatividade desta unidade aquífera.

---

A maioria das captações exploram o aquífero Mio-Pliocénico, apesar de algumas também captarem no aquífero, o que pode revelar que a água do aquífero superior não tem interesse por ser de má qualidade.

### 8.1.2. Condutividade Hidráulica e Transmissividade

Na dificuldade em encontrar furos que captassem somente o aquífero livre, e somente o aquífero na área de estudo, calculou-se apenas a transmissividade para o aquífero semiconfinado, sendo que para o aquífero livre e para o aquífero calcularam as condutividades hidráulicas horizontal e vertical com base na metodologia proposta por BREDDIN (1963).

BREDDIN (1963), propôs uma classificação para materiais detríticos não consolidados baseada na curva granulométrica, constituída por 12 classes, designada por *Ábaco de Breddin* ou *curvas de Breddin*. Cada classe corresponde a um valor médio estimado para a condutividade hidráulica ( $K$ ) consoante a dimensão das partículas que varia entre 2600 m/dia para depósitos no domínio do burgau (classe 1) e valores inferiores a 0,008 m/dia para depósitos no domínio das argilas (classe 12). Os valores indicados para cada classe são tomados como referência e propostos para depósitos com curvas granulométricas semelhantes situadas no intervalo de cada classe de Breddin (SIMÕES, 2010). Assim, as classes de Breddin foram distribuídas em função das descrições litológicas das sondagens, obtendo-se uma classificação quantitativa para os valores de condutividade hidráulica (Tabela 8.1).

Tabela 8.1: Classificação quantitativa para a condutividade hidráulica, em função da litologia, obtida através das curvas de Breddin.

Classe	Litologia	$K$ (m/dia)
1 e 2	Burgau	2600 a 600
3 e 4	Areia grosseira	85 a 43
5 e 6	Areia média	8 a 4,3
7 e 8	Areia fina	1,7 a 0,6
9 e 10	Areia argilosa	0,06 a 0,008
11	Argila arenosa	<0,008
12	Argila	≤0,008

O efeito da estratificação condiciona os valores globais da permeabilidade, a velocidade e a orientação do fluxo subterrâneo (SIMÕES, 2010). A condutividade hidráulica varia com a direção, sendo paralela à estratificação quando o fluxo é horizontal. Os valores de condutividade hidráulica horizontal ( $K_h$ ) foram obtidos através da média ponderada da condutividade hidráulica em cada sondagem e em cada unidade hidrogeológica correspondente ao aquífero livre e aquífero, através da seguinte expressão (8.1):

$$K_h = \frac{\sum(K_h \times \text{Espessura da camada})}{\text{Espessura total da unidade}} \quad (8.1)$$

A condutividade hidráulica vertical ( $K_v$ ), definida quando ocorre fluxo vertical, é duas ordens de grandeza inferior à condutividade hidráulica horizontal.

Tabela 8.2: Condutividades hidráulicas obtidas para o aquífero livre e aquífero confinado na área de estudo.

ID	Aquífero Livre		Aquífero Confinado	
	$K_h$ (m/dia)	$K_v$ (m/dia)	$K_h$ (m/dia)	$K_v$ (m/dia)
F75	20,64	0,2064	2,49	0,0249
F52	6,83	0,0683	6,59	0,0659
F88	7,79	0,0779	3,37	0,0337
F86	3,23	0,0323	0,03	0,0003
F27	8,30	0,0830	0,01	0,0001
F69	0,60	0,0060	1,01	0,0101
F97	3,90	0,0390	1,46	0,0146
F44	3,72	0,0372	8,41	0,0841
F59	13,46	0,1346	0,34	0,0034
F36	0,47	0,0047	4,92	0,0492
F35	6,11	0,0611	3,30	0,0330
F12	26,68	0,2668	1,13	0,0113
F62	5,82	0,0582	4,29	0,0429
F49	0,03	0,0003	4,87	0,0487
F15	2,15	0,0215	15,18	0,1518
F16	12,35	0,1235	4,45	0,0445
F100	0,39	0,0039	0,03	0,0003
F23	4,86	0,0486	1,61	0,0161
F76	2,91	0,0291	0,23	0,0023
F50	2,69	0,0269	3,30	0,0330
F51	2,98	0,0298	6,46	0,0646
RA1	1,40	0,0140	0,03	0,0003
AC6	13,51	0,1351	0,03	0,0003
AC5	2,40	0,0240	0,89	0,0089
FR1	0,97	0,0097	0,05	0,0005
FR3	0,95	0,0095	0,04	0,0004
RA2	1,59	0,0159	0,02	0,0002
FR5	0,71	0,0071	3,88	0,0388
FR8	21,35	0,2135	0,09	0,0009
FR4	4,95	0,0495	0,10	0,0010
F113	0,95	0,0095	0,05	0,0005
F40	15,45	0,1545	1,18	0,0118
AC3	0,99	0,0099	0,38	0,0038
F50	8,30	0,0830	2,08	0,0208
F5	19,64	0,1964	18,91	0,1891
F7	1,22	0,0122	7,65	0,0765
F10	2,43	0,0243	0,03	0,0003
F12	2,33	0,0233	1,73	0,0173
F25	1,00	0,0100	2,08	0,0208
FR7	1,63	0,0163	3,88	0,0388

Para o aquífero livre,  $K_h$  oscila entre 0,03 e 26,68 m/dia, com um valor médio de 5,94 m/dia, e  $K_v$  oscila entre 0,0003 e 0,27 m/dia, com um valor médio de 0,06 m/dia, atingindo valores mais elevados

no setor norte da área de estudo. Para o aquífero,  $K_h$  oscila entre 0,01 e 18,91 m/dia, com um valor médio de 2,91 m/dia, e  $K_v$  oscila entre 0,0001 e 0,189 m/dia, com um valor médio de 0,029 m/dia, atingindo valores mais elevados desde a Vinha das Pedras até à Baixa da Banheira, e na sondagem F5 até à frente ribeirinha.

FIALHO (2009) realizou estudos estatísticos de transmissividade ( $T$ ) e caudal específico ( $Q_s$ ) a partir de 45 ensaios efetuados para análise do comportamento hidráulico do sistema aquífero no concelho do Seixal, e verificou que o maior coeficiente de correlação seria para valores de transmissividade obtidos através do método de Hantush – Jacob, com a seguinte reta de correlação nas camadas biocalcareónicas (8.2):

$$T \text{ (m}^2/\text{dia)} = 98,98Q_s \text{ (l/s/m)} + 5,16 \quad (8.2)$$

Para calcular a transmissividade do aquífero semiconfinado no sistema aquífero, selecionaram-se dados de ensaios de bombeamento de 30 furos totalmente isolados no aquífero livre, assim como os caudais específicos, calculados pela razão entre os rebaixamentos e os caudais de ensaio.

Tabela 8.3: Transmissividades obtidas para o aquífero semiconfinado no sistema aquífero, através do método de Hantush – Jacob, segundo a relação de transmissividade e caudal específico de FIALHO (2009).

ID	Ralos (m)	NHE (m)	NHD (m)	S (m)	$Q_e$ (l/s)	$Q_s$ (l/s/m)	T (m <sup>2</sup> /dia)
<b>F75</b>	159 a 271	14,0	39,0	25,0	75,5	3,0	304,1
<b>F76</b>	112 a 289	15,0	36,1	21,1	62,5	2,96	298,1
<b>F52</b>	168,5 a 275,5	10,3	28,1	17,8	80,0	4,5	450,0
<b>F88</b>	165 a 264	18,1	34,9	16,8	100,0	6,0	594,3
<b>F69</b>	163 a 263,5	10,0	31,4	21,4	80,0	3,7	375,2
<b>F97</b>	171 a 274,5	18,6	34,8	16,2	100,0	6,2	616,1
<b>F44</b>	170,5 a 253	9,5	21,5	12,0	40,0	3,3	335,1
<b>F59</b>	175,4 a 284,5	17,1	27,0	9,9	70,0	7,1	705,0
<b>F36</b>	171,5 a 257,5	11,5	20,0	8,5	70,0	8,2	820,3
<b>F35</b>	172,5 a 257,5	9,5	25,5	16,0	70,0	4,4	438,2
<b>F12</b>	174 a 214	5,0	21,0	16,0	55,0	3,4	345,4
<b>F62</b>	176,3 a 276,5	13,1	26,5	13,4	78,0	5,8	581,3
<b>F49</b>	190 a 277,2	17,5	27,5	10,0	70,0	7,0	698,0
<b>F27</b>	175 a 217	1,73	27,98	26,25	60	2,3	231,4
<b>F51</b>	152 a 290	10,5	18,2	7,7	45,0	5,8	583,6
<b>AC3</b>	189 a 302	48,4	66,2	17,8	55,0	3,1	311,0
<b>AC6</b>	223 a 298	45,8	87,7	41,9	40,0	1,0	99,7
<b>RA1</b>	220,1 a 282,8	42,2	64,3	22,1	60,0	2,7	273,9
<b>RA2</b>	240 a 261,5	51,1	85,9	34,8	59,8	1,7	175,4
<b>FR3</b>	174 a 284	29,5	52,9	23,4	66,0	2,8	282,3
<b>FR4</b>	216 a 284,5	28,0	50,8	22,8	55,0	2,4	243,9
<b>FR6</b>	224 a 255	49,5	73,2	23,7	40,0	1,7	172,2
<b>FR7</b>	161 a 285	11,0	27,3	16,3	62,5	3,8	381,3
<b>FR8</b>	237 a 285	38,5	58,9	20,4	50,0	2,5	247,8
<b>F12</b>	171 a 274,5	14,0	28,0	14,0	75	5,4	535,4
<b>F5</b>	172 a 234,5	22,9	30,6	7,7	75,0	9,7	969,3
<b>F98</b>	154 a 247	18,0	38,5	20,5	71,0	3,5	348,0
<b>F38</b>	137 a 178	0,7	15,5	14,8	30,0	2,0	205,8
<b>F41</b>	61 a 110	5,3	29,6	24,3	3,0	0,12	17,4
<b>F14</b>	84 a 184	21,0	34,0	55,0	3,0	0,05	10,6

Os valores calculados oscilam entre os 10,6 e os 969,3 m<sup>2</sup>/dia, donde resulta uma transmissividade média de 388,3 m<sup>2</sup>/dia para o aquífero semiconfinado, atingindo valores mais elevados junto ao estuário e onde se localiza a sondagem F51, e valores mais baixos em Vinha das Pedras, Alto do Seixalinho, Quinta da Lomba (AC6) e no extremo sul da área de estudo devido ao incremento da componente argilosa na base do Pliocénico, e da componente margosa nas camadas miocénicas.

A condutividade hidráulica é controlada pela presença de intercalações argilosas e margosas menos permeáveis, assim, os dados litológicos, a Tabela 8.2 e a Tabela 8.3 confirmam não só que o aquífero é a unidade hidrogeológica menos permeável por ter mais intercalações argilosas relativamente às outras unidades, mas também que a condutividade hidráulica do aquífero livre é superior à do aquífero semiconfinado por ser constituído por sedimentos arenosos não consolidados, ao invés do aquífero semiconfinado, que é constituído por depósitos biocalcareníicos e possíveis intercalações margosas.

### 8.1.3. Funcionamento Hidráulico

O escoamento subterrâneo ocorre de SSE para NNW, desde a zona de recarga, situada nos afloramentos das unidades miocénicas no flanco Norte da Serra da Arrábida, em direção ao estuário do Tejo.

Existe comunicação hidráulica entre os aquíferos através do aquífero. Esta funciona em sentido descendente na zona de recarga e ascendente nas proximidades do estuário, onde se estabelecem os maiores potenciais com a profundidade.

O sistema aquífero é alimentado pela precipitação eficaz em toda a extensão aquífera, sendo a drenância vertical do aquífero fator preponderante na transmissibilidade de água em todo o sistema e na chamada de água às captações, definindo zonas de captura com formas geométricas complexas. Os fluxos estabelecem-se em função dos rebaixamentos hidrodinâmicos provocados e dos potenciais, resultando em rebaixamentos persistentes, acentuados e inversões pontuais no sentido dominante do escoamento (Figura 8.2).

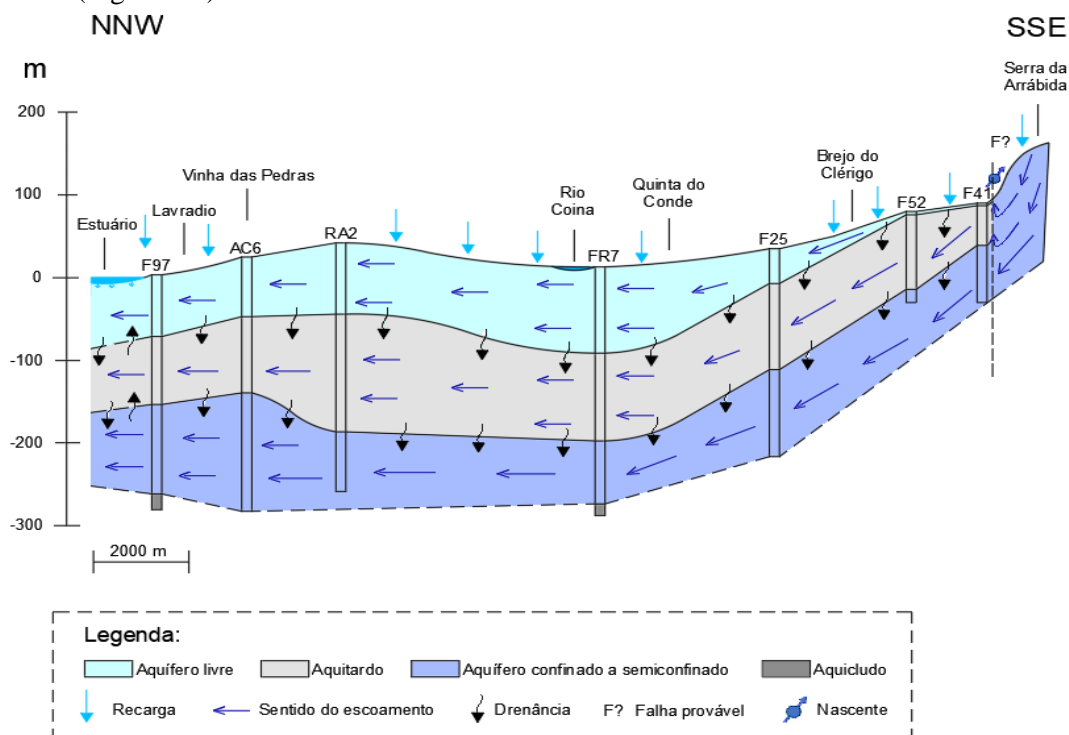


Figura 8.2: Representação das unidades hidrogeológicas e do funcionamento hidráulico entre o estuário do Tejo e a Serra da Arrábida.

Os dados obtidos das sondagens de pesquisa e captação de água subterrânea executadas desde 1960 mostram, para o aquífero semiconfinado, um rebaixamento progressivo do nível hidrostático no tempo e com o incremento da profundidade da captação, de modo que se confunde hoje em dia com nível hidrodinâmico persistente (Figura 8.3). A sobreexploração do sistema, da qual resultam cones de rebaixamento localizados e profundos, podem facilitar a intrusão de águas salobras do estuário para o sistema aquífero e salinização das captações.

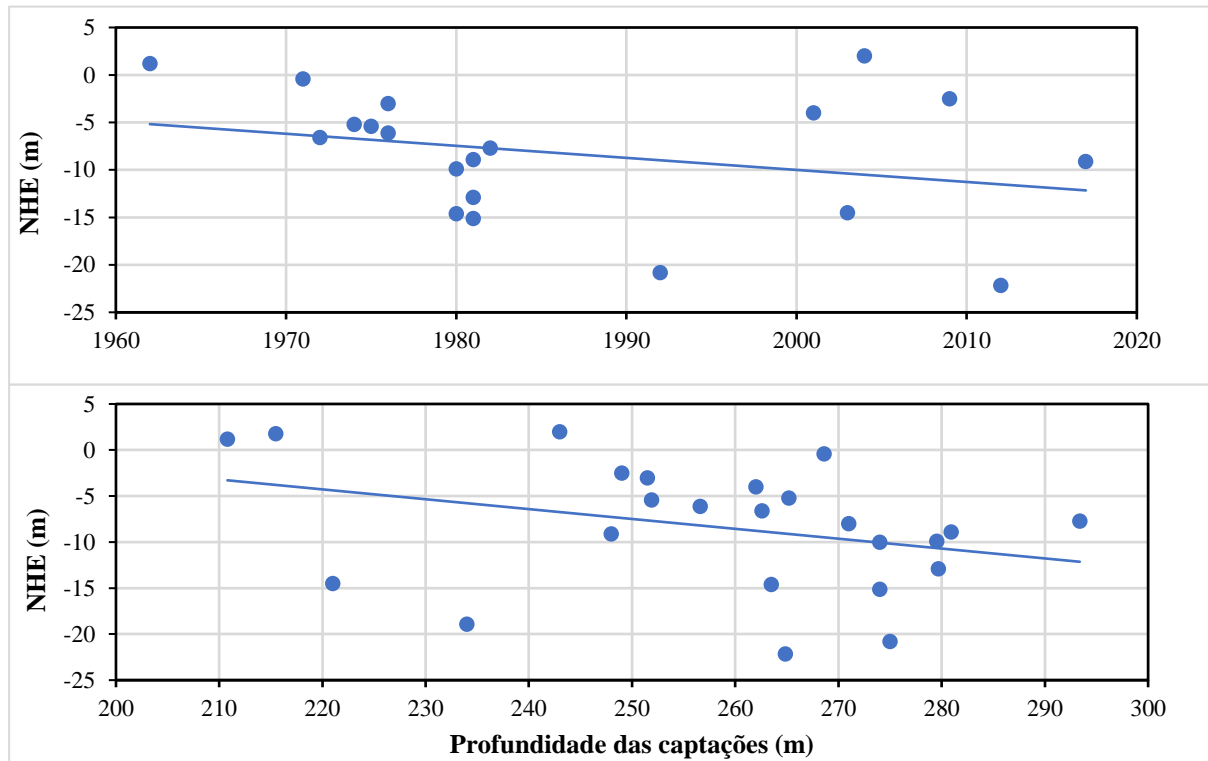


Figura 8.3: Representação gráfica do nível hidrostático em função do tempo e da profundidade das captações.

## 8.2. Modelo Numérico de Fluxo Subterrâneo

O modelo utilizado para simular o fluxo subterrâneo foi o MODFLOW, contido no programa PROCESSING MODFLOW na versão 5.3, construído a partir do modelo hidrogeológico conceptual, baseado na compilação e interpretação de dados geológicos e hidrogeológicos mencionados no subcapítulo anterior. Os ficheiros de entrada a introduzir no modelo foram concebidos com recurso ao ArcMap, do *software* ArcGIS, na versão 10.7.1. Pretende-se obter as superfícies piezométricas em cada unidade hidrogeológica de modo a perceber como varia o escoamento subterrâneo em regime estacionário e transitório.

### 8.2.1. Construção do Modelo de Fluxo Subterrâneo

#### 8.2.1.1. Geometria do Modelo de Fluxo

##### Delimitação da Área

Este estudo foca-se no concelho do Barreiro, contudo, por condicionantes do modelo numérico, a área de modelação foi alargada, relativamente à que estava prevista inicialmente. O modelo foi delimitado a norte pelo estuário do Tejo, a sul pelo rio Lagos, a oeste pelo rio Coina, e a leste pelo rio da Moita. Os limites norte e oeste pertencem ao concelho do Barreiro, o limite leste pertence maioritariamente ao concelho da Moita, e o limite sul aos concelhos de Sesimbra, Setúbal e Palmela. Assim, a área do modelo corresponde a 72 km<sup>2</sup>, englobando também a parte submersa correspondente às unidades hidrogeológicas (Figura 8.4).

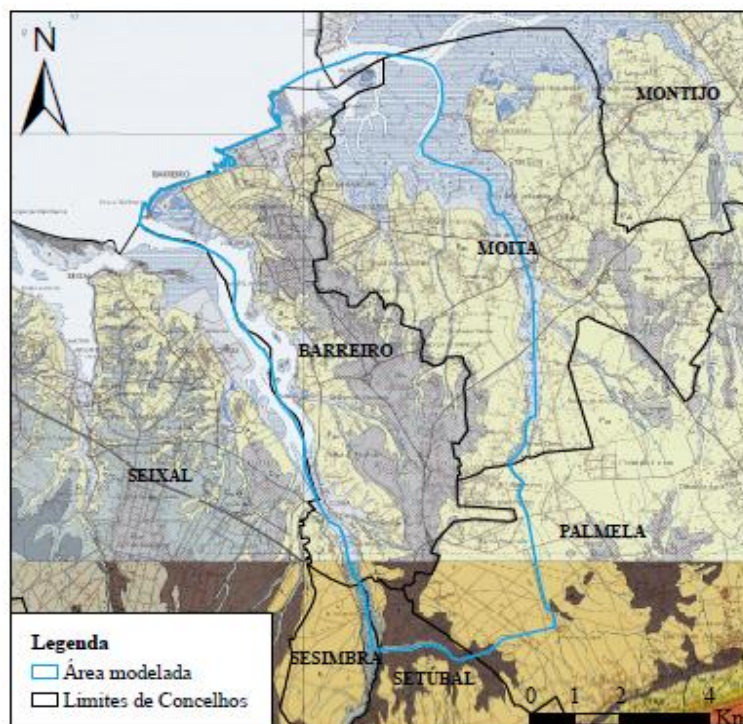


Figura 8.4: Delimitação da área modelada.

##### Geração da Malha Computacional

A *shapefile* da área de estudo, gerada no ArcMap, é convertida para formato matricial através da ferramenta “Feature to Raster” (*Conversion Tools*), originando uma malha com 285 linhas, 186 colunas, e dimensão de célula de 50 m. Ainda em ArcMap, a malha é exportada para um formato compatível com o PROCESSING MODFLOW por meio da ferramenta “Copy Raster” (*Data Management Tools*), no entanto, por não ser possível colocar diretamente o ficheiro em formato BMP, converte-se para o formato TIFF com uma profundidade de cor de 1 bit, que resulta numa imagem com células separadas em 2 classes: 0 para as células inativas e 1 para as ativas. Posteriormente, recorre-se ao *Paint* para gravar a imagem em formato BMP.



No PROCESSING MODFLOW, inserem-se o número de linhas, de colunas, dimensão das células e a imagem no formato BMP no menu *Grid - Mesh Size*, e define-se o sistema coordenadas através dos limites geográficos verificados nas propriedades da imagem, de forma que fique compatível com as dimensões reais do aquífero, gerando assim a malha computacional (Figura 8.5).

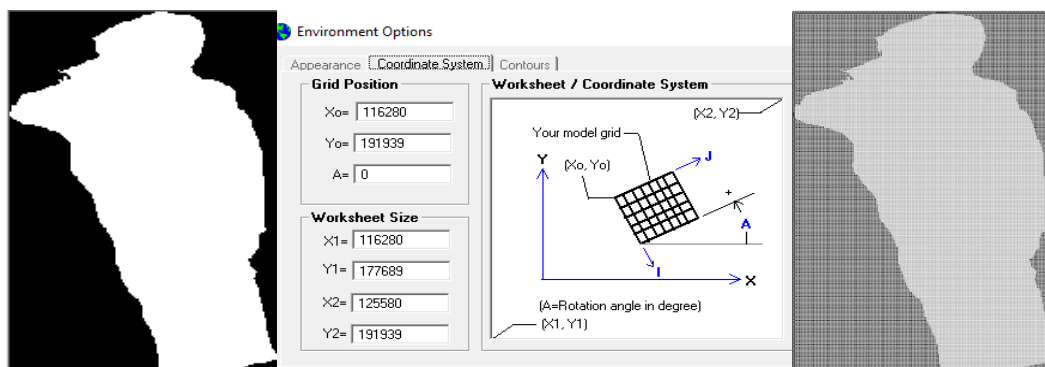


Figura 8.5: Imagem no formato compatível com o MODFLOW (BMP), o respetivo sistema de coordenadas e a malha computacional.

### Discretização Espacial e Temporal

O modelo é constituído por três camadas (*layers*) correspondentes ao aquífero livre (*layer 1*), aquífero confinado (*layer 2*) e aquífero semiconfinado (*layer 3*). Esta informação foi colocada no menu *Grid - Layer Type*, do PROCESSING MODFLOW, como “unconfined”, “confined/unconfined (transmissivity=const.)” e “confined”, respetivamente. Para representar estas camadas, obtiveram-se os seguintes planos (Figura 8.6):

- Plano 1: Superfície do terreno/Topo do aquífero livre;
- Plano 2: Base do aquífero livre/Topo do aquífero confinado;
- Plano 3: Base do aquífero confinado/Topo do aquífero semiconfinado;
- Plano 4: Base do aquífero semiconfinado.

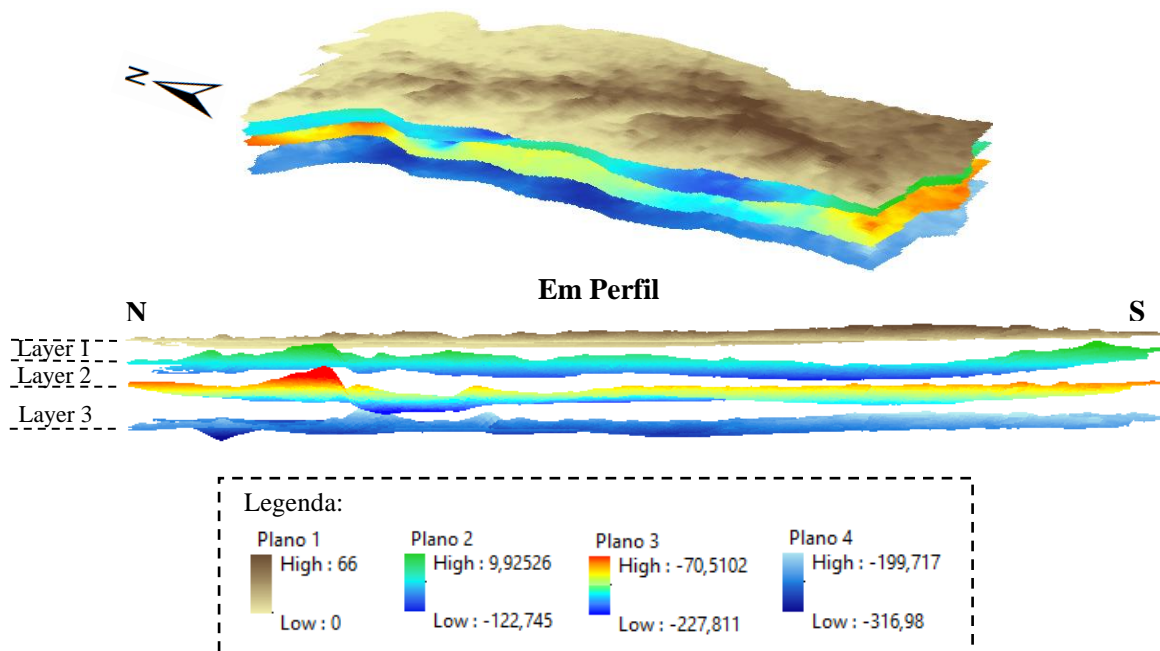


Figura 8.6: Representação, em 3D, da profundidade das unidades hidrogeológicas interpoladas.

Para o plano 1, utilizou-se o modelo digital de terreno (MDT) do ArcGIS online, com resolução de 30 m, onde constam as cotas da superfície do terreno. Para os restantes planos, interpretaram-se as colunas litológicas das sondagens de pesquisa e captação de água subterrânea para obter as profundidades dos limites de cada unidade hidrogeológica, interpolaram-se os restantes valores através da ferramenta “Topo to Raster” (*3D Analyst*), e subtraíram-se ao MDT por meio da ferramenta “Raster Calculator” (*Spatial Analyst*). Todos os planos foram gerados em ambiente SIG e transformados em matrizes compatíveis com o PROCESSING MODFLOW através da ferramenta “Raster to ASCII” (*Conversion*). Posteriormente, as matrizes correspondentes ao topo e à base de cada *layer* foram editadas e inseridas no menu *Grid – Top of Layers* e *Bottom of Layers*, respetivamente.

As cotas do plano 1 variam entre os 0 e os 66 m, as do plano 2 entre os 10 e os -123 m, aproximadamente, as do plano 3 entre cerca de -71 e -228 m, e as do plano 4 entre aproximadamente -200 e -317 m.

Relativamente à discretização temporal, definiu-se um período (*step*) de 1 dia, para simular um fluxo em regime estacionário (*steady-state*), e quatro períodos de 365 dias (1 ano), 730 dias (2 anos), 3650 dias (10 anos) e 7300 (20 anos) para simular um fluxo em regime transitório (*transiente*).

### Condições de Fronteira

Para definir as condições de fronteira, o modelo requer uma matriz IBOUND, que contém um código para cada célula (0, 1 e -1). As condições de fronteira para o aquífero livre (*Layer 1*) e aquífero (*Layer 2*) são iguais pois estão em comunicação hidráulica entre si. Assim, foram considerados os seguintes códigos para as condições de fronteira (Figura 8.7):

- **Célula = 1:** Utilizada para células ativas em que o potencial hidráulico é calculado, permitindo determinar o nível piezométrico num dado nó da malha.
- **Célula = -1:** Utilizada para células em que o potencial hidráulico é constante, fixando o fluxo de um fluido num dado nó da malha de modo que o potencial se mantenha igual durante a simulação. No aquífero livre e aquífero (*Layer 1* e *2*, respetivamente), esta condição foi imposta no estuário do Tejo (a norte), ribeira de Coina (a este) e rio Lagos (a sul), enquanto que no aquífero semiconfinado (*Layer 3*) foi imposta na ribeira de Coina (a oeste), ribeira da Moita (a este) e rio Lagos (a sul).
- **Célula = 0:** Utilizada para definir as células inativas na área exterior ao domínio do modelo, onde não ocorre fluxo.
- **Furos:** Utilizada para simular a extração de água no aquífero. Esta condição foi imposta no aquífero semiconfinado (*Layer 3*), onde foram inseridos os caudais de extração, para o ano de 2020, de 11 captações da Câmara Municipal do Barreiro e de 3 captações do Parque Empresarial Baía do Tejo (Tabela 8.4).

Tabela 8.4: Caudais de extração para o ano de 2020, convertidos para m<sup>3</sup>/dia, inseridos no modelo de fluxo.

	CMB										Baía do Tejo			
	FR4	FR8	AC6	RA1	FR6	AC3	AC5	FR1	FR3	RA2	FR5	F5	F7	F12
Q <sub>e</sub> (m <sup>3</sup> /dia)	1858	3019	926	1453	441	1748	3002	1670	494	710	1018	468	95	1200

No PROCESSING MODFLOW, as condições de fronteira foram inseridas no menu *Grid – Boundary Condition – IBOUND (Modflow)* (Figura 8.7), à exceção da condição relativa aos furos, que se inseriram no menu *Models – MODFLOW – Well*. Para inserir os furos de extração, procedeu-se ao refinamento da malha computacional no local dos mesmos, com dimensão de célula de 5 m ao invés de 50 m.

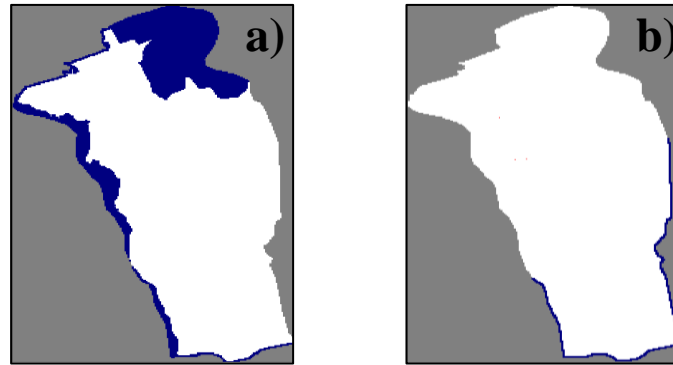


Figura 8.7: Condições de fronteira impostas para o modelo de fluxo, sendo que as células a branco correspondem à condição de nível piezométrico imposto, as azuis às de fluxo imposto e as cinzentas às de transferência. a) aquífero livre e aquífero confinado; b) aquífero semiconfinado.

### 8.2.1.2. Parâmetros Introduzidos no Modelo de Fluxo

#### Condições Iniciais

As condições iniciais do aquífero livre e aquífero confinado são iguais, pois encontram-se em equilíbrio entre si. Para definir as condições iniciais destas duas unidades hidrogeológicas, inicialmente, interpolou-se o nível hidrostático de 12 pontos de água da base de dados do LNEG, 2 pontos de água da base de dados do SNIRH, e assumiu-se um valor de 0 m no estuário de modo a estabelecer um gradiente em direção à zona de descarga. Esta interpolação foi realizada em ArcMap, pela ferramenta “Topo to Raster” (*Spatial Analyst*), que permite criar modelos hidrologicamente mais corretos, tendo sido subtraída ao Modelo Digital de Terreno através da ferramenta “Raster Calculator” (*Spatial Analyst*). Este processamento gerou depressões no nível hidrostático, representando uma intrusão salina que poderá não existir nas condições iniciais. Para que isso não aconteça, é conveniente que o nível hidrostático não seja inferior à cota do estuário, pelo que se inseriu a seguinte condição através da ferramenta “Raster Calculator”:

$$\text{Cond}(\text{Raster} < 0, \text{Raster})$$

significando que todos os valores inferiores a 0 m serão substituídos por 0, e que os restantes valores obtidos anteriormente se mantêm. Para além disso, no local onde existem ribeiras, os valores interpolados anteriormente foram substituídos pelas cotas das mesmas.

Para o aquífero semiconfinado, como mencionado no capítulo 7.1.3, os dados obtidos mostram um rebaixamento progressivo do nível hidrostático no tempo e com o incremento da profundidade da captação, de modo que se confunde hoje em dia com nível hidrodinâmico persistente. Posto isto, as condições iniciais para o aquífero semiconfinado foram obtidas através da interpolação dos níveis hidrodinâmicos que constam nas sondagens de pesquisa e captação de água subterrânea que captam no aquífero semiconfinado e dos níveis hidrostáticos das captações da CMB e do Parque Empresarial Baía do Tejo, produzidos à data de abertura dos furos. Colocaram-se apenas os furos da CMB e Baía do Tejo em extração com os caudais de exploração para o ano de 2020, de modo que o nível piezométrico se aproximasse da realidade. Esta interpolação foi realizada em ArcMap, pelo método “Topo to Raster”.

As condições iniciais obtidas em ArcMap para as três unidades hidrogeológicas foram transformadas em matrizes compatíveis com o PROCESSING MODFLOW através da ferramenta “Raster to ASCII” (*Conversion*). Posteriormente, as matrizes foram editadas e inseridas no menu *Parameters – Initial Hydraulic Heads*.

Assim, as condições iniciais para o aquífero livre e aquífero confinado oscilam entre 0 e 56,73 m, e para o aquífero semiconfinado entre 16,12 e -35,26 m (Figura 8.8).

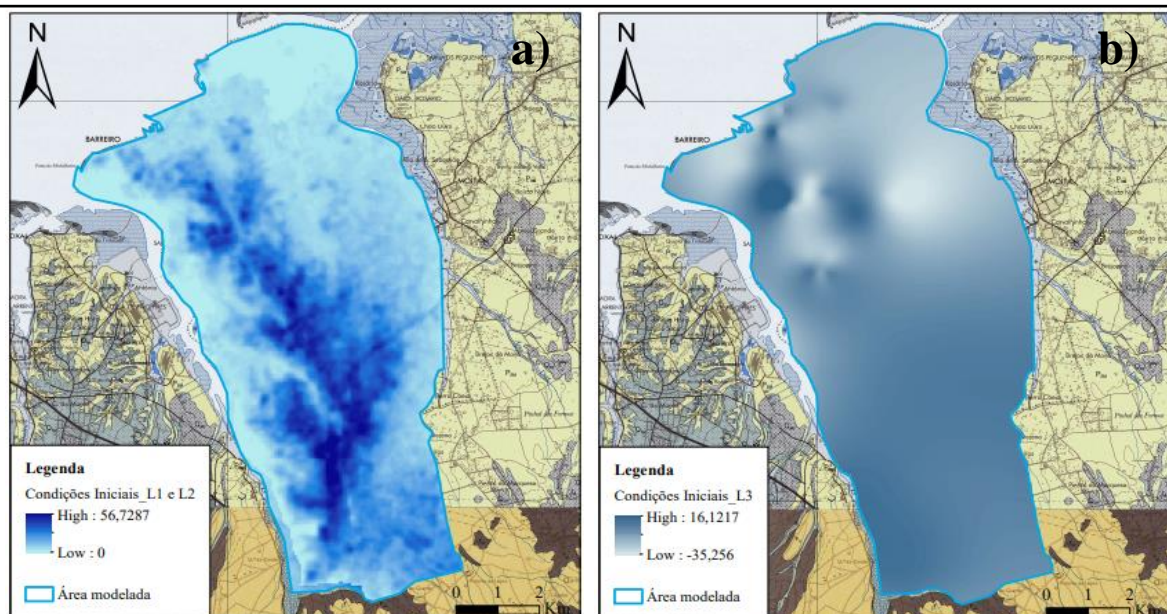


Figura 8.8: Condições iniciais impostas para o modelo de fluxo. a) aquífero livre e aquífero; b) aquífero confinado.

**Condutividade Hidráulica e Transmissividade**

Os valores de condutividade hidráulica horizontal, vertical e de transmissividade acima mencionados foram interpolados em ArcMap pelo método “Inverso da Distância” (Figura 8.9) e transformados em matrizes compatíveis com o PROCESSING MODFLOW através da ferramenta “Raster to ASCII” (*Conversion*). Posteriormente, as matrizes foram editadas e inseridas no menu *Parameters – Horizontal Hydraulic Conductivity, Vertical Hydraulic Conductivity e Transmissivity*, respectivamente.

Para a condutividade hidráulica horizontal, os valores inseridos no modelo de fluxo oscilam entre 0,80 e 23,36 m/dia para o aquífero livre, e entre  $9,61 \times 10^{-3}$  e 18,91 m/dia para o aquífero. Na área exterior ao domínio do modelo inseriu-se um valor médio de 6,00 e 3,00 m/dia para o aquífero livre e aquífero, respectivamente. Os valores de condutividade hidráulica vertical são duas ordens de grandeza inferiores aos da condutividade hidráulica horizontal.

Ao analisar as colunas litológicas das captações da área em estudo, determinou-se a transmissividade selecionando apenas as mais representativas do aquífero semiconfinado, ou seja, as que captam apenas a unidade biocalcarenítica, com uma maior espessura de aquífero e que estejam isoladas pelo aquífero (Tabela 8.5).

Tabela 8.5: Transmissividades mais representativas do aquífero semiconfinado, através do método de Hantush – Jacob, segundo a relação de transmissividade e caudal específico de FIALHO (2009).

ID	Ralos (m)	NHE (m)	NHD (m)	S (m)	Qe (l/s)	Qs (l/s/m)	T (m <sup>2</sup> /dia)
FR7	161 a 285	11,0	27,3	16,3	62,5	3,8	381,3
FR3	174 a 284	29,5	52,9	23,4	66,0	2,8	282,3
F76	112 a 289	15,0	36,1	21,1	62,5	2,96	298,1
AC3	189 a 302	48,4	66,2	17,8	55	3,1	311,0
F98	154 a 247	18,0	38,5	20,5	71,0	3,5	348,0
FR8	237 a 285	38,5	58,9	20,4	50,0	2,5	247,8
FR4	216 a 284,5	28,0	50,8	22,8	55,0	2,4	243,9
F51	152 a 290	10,5	18,2	7,7	45,0	5,8	583,6
F62	176,3 a 276,5	13,1	26,5	13,4	78,0	5,8	581,3
F49	190 a 277,2	17,5	27,5	10,0	70,0	7,0	698,0
F88	165 a 264	18,1	34,9	16,8	100,0	6,0	594,3

Assim, os valores de transmissividade do aquífero semiconfinado oscilam entre 243,93 e 698,02 m/dia, sendo que na área exterior ao domínio do modelo se inseriu um valor médio de 388 m/dia.

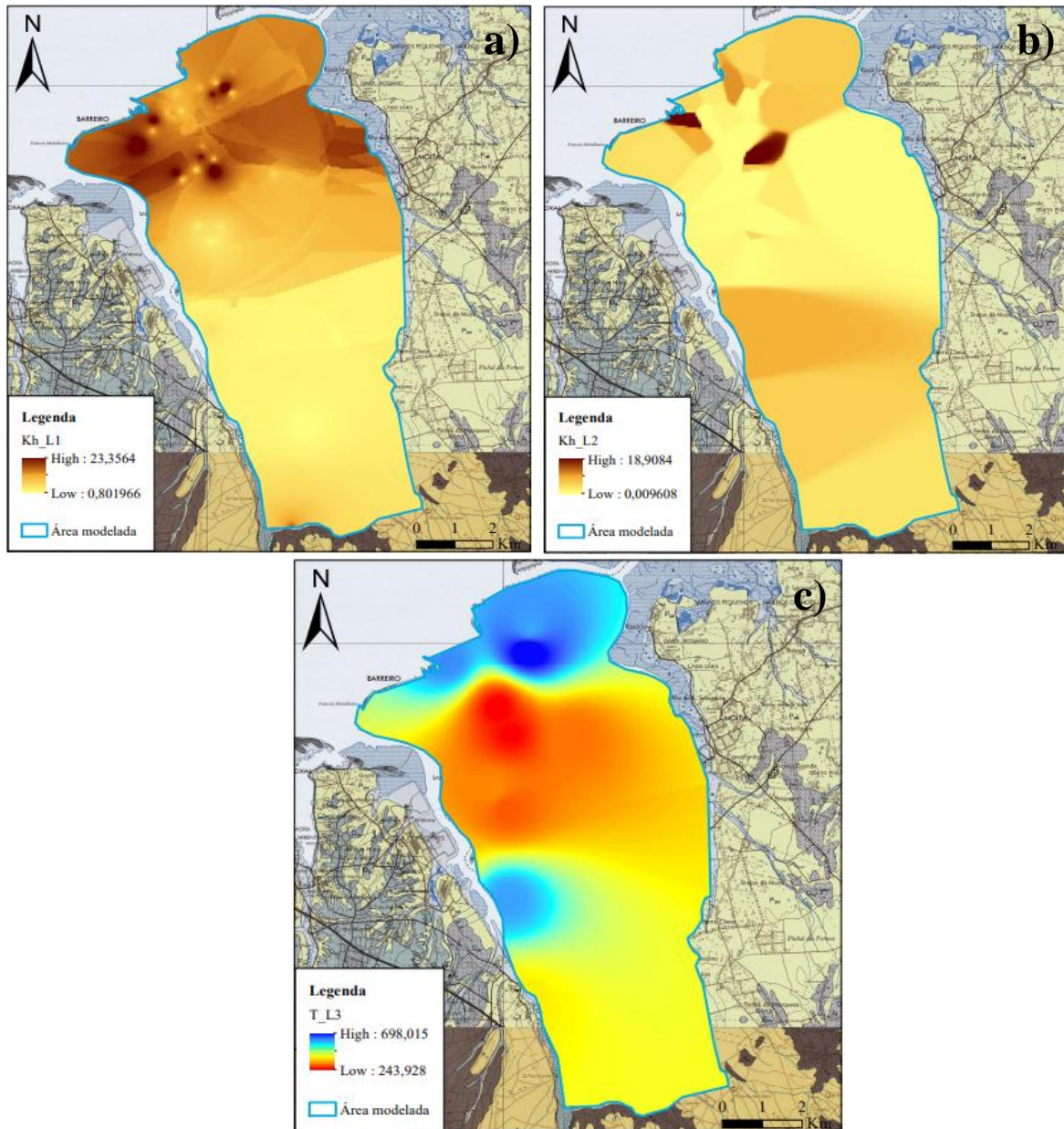


Figura 8.9: Condutividade hidráulica horizontal do aquífero livre (a) e aquitardo (b) e transmissividade do aquífero confinado (c) impostas para o modelo de fluxo.

### Recarga

Como mencionado no capítulo 2.4, as estações meteorológicas de Alcochete (21D/01UG), Vila Nogueira de Azeitão (22C/02UG) e Lavradio (E116) estão próximas da área de estudo e apresentam valores de precipitação média anual de 545,75 mm, 940 mm e 588,1 mm, respetivamente. Segundo SIMÕES (1998), a taxa de infiltração nos depósitos pliocénicos é da ordem dos 30%, e nos depósitos miocénicos cerca de 12% a 15%, logo, como a recarga se dá por infiltração direta da precipitação, multiplicaram-se os valores de precipitação média anual das estações meteorológicas anteriores pelas respetivas taxas de infiltração consoante a litologia dominante.

A recarga obtida para Alcochete e Lavradio (depósitos pliocénicos) foi de  $4,49 \times 10^{-4}$  e  $4,83 \times 10^{-4}$  m/dia, respetivamente, e para Vila Nogueira de Azeitão (depósitos miocénicos) foi de  $3,48 \times 10^{-4}$  m/dia. Estes valores foram interpolados em ArcMap pelo método “Inverso da Distância” (Figura 8.10) e

## 8 MODELAÇÃO MATEMÁTICA

transformados em matrizes compatíveis com o PROCESSING MODFLOW para obter valores para a área modelada. Posteriormente, a matriz foi editada e inserida no menu *Models – MODFLOW – Recharge*.

Assim, os valores de recarga oscilam entre  $3,71 \times 10^{-4}$  e  $4,83 \times 10^{-4}$  m/dia, sendo que na área exterior ao domínio do modelo se inseriu o valor mínimo.

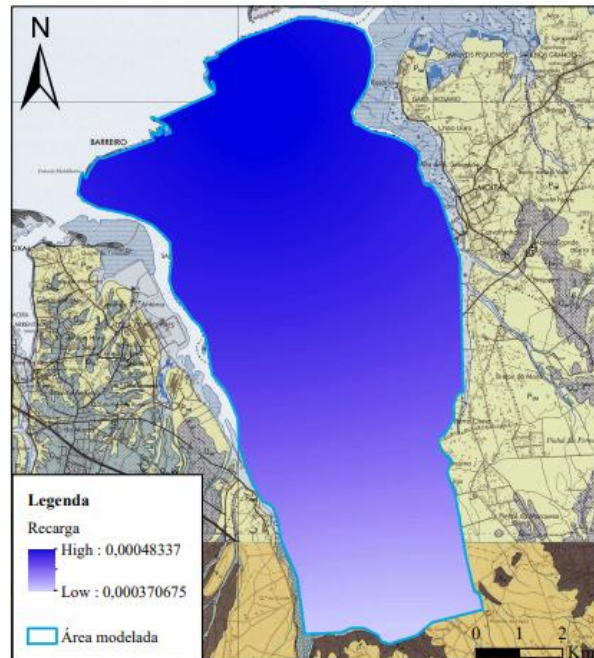


Figura 8.10: Recarga imposta para o modelo de fluxo.

### **Porosidade Eficaz**

Para a porosidade eficaz, inseriram-se valores de acordo com a litologia dominante, ou seja, de 0,25 para o aquífero livre (areias finas), 0,15 para o aquífero (intercalações argilosas) e 0,12 para o aquífero semiconfinado (biocalcarenítos, por vezes intercalados com margas) (FREEZE AND CHERRY, 1979, in ZEFERINO, 2016).

### **Coefficiente de Armazenamento e Retenção Específica**

Para o coeficiente de armazenamento e retenção específica, inseriu-se o valor definido por defeito de  $1 \times 10^{-4} \text{ m}^{-1}$ . Estes parâmetros são utilizados apenas para simular o fluxo em regime transitório.

## **8.2.2. Calibração do Modelo de Fluxo Subterrâneo**

A calibração é o processo pelo qual as variáveis inseridas no modelo são reajustadas de modo que a carga hidráulica e o fluxo simulado se aproximem da realidade. Por tentativas ajustam-se os valores dos parâmetros introduzidos nas 3 unidades hidrogeológicas consideradas ao mesmo tempo que se adequam os caudais de exploração ( $Q_e$ ) das captações da CMB e do Parque Empresarial Baía do Tejo de modo a reproduzir o rebaixamento observado e descrito nos relatórios fornecidos por estas entidades.

A calibração manual, por tentativa-erro, levou a admitir que toda a extração na área modelada se deve a estas captações. Contudo, é certo que existem outros furos a bombear no local, extraindo, grosso modo, caudais com efeitos sobrepostos no rebaixamento e que se desconhecem.

Através da simulação/calibração é possível obter uma estimativa do volume extraído, equivalente à diferença entre o caudal de extração ( $Q_e$ ) e o caudal de calibração ( $Q_a$ ), noutros furos, cujo efeito se assemelha ao observado no cone de depressão gerado pelos níveis hidrodinâmicos no local (Tabela 8.6).

Tabela 8.6: Caudais de extração ( $Q_e$ ) fornecidos pela CMB e Parque Empresarial Baía do Tejo e respetivos valores ajustados para calibração do modelo de fluxo. Estimacção do volume captado, não contabilizado, noutras furos situados na área modelada cujo efeito se observa no cone de rebaixamento do nível piezométrico do sistema aquífero no local de estudo.

Entidade	ID	Caudal extraído ( $Q_e$ ) ( $m^3/dia$ )	Caudal ajustado ( $Q_a$ ) para calibração do modelo ( $m^3/dia$ )	$Q_e'$ ( $Q_e - Q_a$ ) extraído no local em furos não identificados ( $m^3/dia$ )	$Q_a/Q_e$
CMB	FR4	1858	4480	2622	2,41
	FR8	3019	2840	-179	0,94
	AC6	926	6804	5878	7,35
	RA1	1453	3828	2375	2,63
	FR6	441	1944	1503	4,41
	AC3	1748	3286	1538	1,88
	AC5	3002	949	-2053	0,32
	FR1	1670	2912	1242	1,74
	FR3	494	1379	885	2,79
	RA2	710	2083	1373	2,93
	FR5	1018	5292	4274	5,20
Parque Empresarial Baía do Tejo	F5	468	1517	1049	3,24
	F7	95	870	775	9,16
	F12	1200	2835	1635	2,36
<b>Total</b>		18102	41019	22917	

Para calibração do modelo, de modo a obter o melhor índice de correlação possível entre os valores observados e os simulados para os níveis hidrodinâmicos (NHD), foi necessário aumentar os caudais de extração em todas as captações, à exceção da FR8 e AC5, onde se diminuíram 179 e 2053  $m^3/dia$ , respetivamente, relativamente aos caudais de extração indicados pela CMB. A razão entre os caudais de exploração ajustados ( $Q_a$ ) e os indicados pela CMB e Parque Empresarial Baía do Tejo ( $Q_e$ ) representa a dimensão da extração no local para além da que é da responsabilidade destas entidades. Para toda a área de modelação, o volume de exploração total indicado pela CMB e Parque Empresarial Baía do Tejo corresponde a 18102  $m^3/dia$  e o volume total ajustado para calibração corresponde a 41019  $m^3/dia$ , ou seja, está a ser extraído um volume de água no local noutras captações correspondente a 22917  $m^3/dia$ , representando um volume 2,27 vezes superior ao captado pela CMB e Parque Empresarial Baía do Tejo.

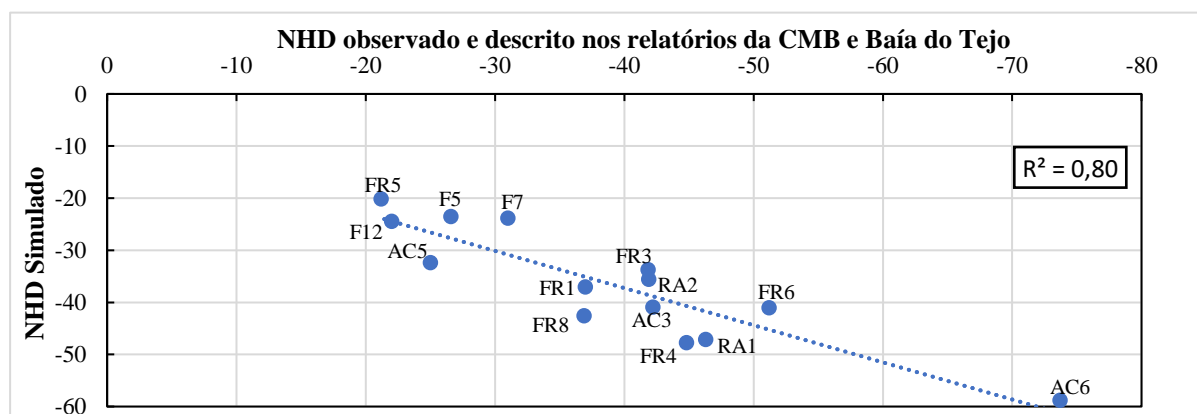


Figura 8.11: Correlação entre os níveis hidrodinâmicos observados e descritos nos relatórios da CMB e Parque Empresarial Baía do Tejo e os simulados com os caudais de extração ajustados.

O índice de correlação ( $R^2=0,80$ ) obtido entre os níveis hidrodinâmicos observados e simulados (Anexo 8) mostra uma correlação forte, pelo que o modelo se considera calibrado com os caudais de extração ajustados (Figura 8.11).

### 8.3. Modelo de Transporte de Massa

O módulo utilizado para simular o transporte de massa, nomeadamente de cloretos, foi o MT3D, contido no programa PROCESSING MODFLOW na versão 5.3, construído a partir do modelo de fluxo subterrâneo em regime transitório. Pretendeu-se simular o comportamento do ião cloreto e a suscetibilidade à contaminação salina em cada unidade hidrogeológica no horizonte temporal de 1, 2 e 10 anos.

#### 8.3.1. Construção do Modelo de Transporte de Massa

##### Discretização Temporal

Para a discretização temporal, definiram-se três períodos em regime transitório (*transiente*), nomeadamente, de 365 dias (1 ano), 730 dias (2 anos) e 3650 dias (10 anos), com um número máximo de 5000000 etapas de transporte.

##### Condições de Fronteira de Massa

Para definir as condições de fronteira, o modelo requer uma matriz ICBUND, que contém um código para cada célula (0, 1 e -1), em que se insere o valor 0 para células de concentração inativa, 1 para células de concentração ativa e -1 para células de concentração constante. O MT3D converte automaticamente todas as células sem fluxo ou secas em células de concentração inativa. Tal como no modelo de fluxo, as condições de fronteira de massa para o aquífero livre (*Layer 1*) e aquífero (Layer 2) são iguais, pois estão em comunicação hidráulica entre si.

No aquífero livre e aquífero (*Layer 1* e *2*, respetivamente), inseriram-se células de concentração constante no rio Lagos (a sul) e no limite interior do estuário do Tejo. Na restante área do estuário do Tejo inseriram-se células de concentração inativa de modo a minimizar a área necessária para simulação de transporte. As células de concentração ativa foram inseridas na restante área modelada. No aquífero semiconfinado (*Layer 3*), as células de concentração constante foram imposta apenas no rio Lagos (a sul), enquanto que na restante área modelada foram impostas células de concentração ativa.

As condições de fronteira de massa foram inseridas no menu *Grid – Boundary Condition – ICBUND (MT3D / MT3DMS)*.





Figura 8.12: Condições de fronteira de massa impostas para o modelo de transporte de massa, sendo que as células a branco correspondem às de concentração ativas, as laranja às de concentração constante, e as cinzentas às de concentração inativa. a) aquífero livre e aquífero confinado; b) aquífero confinado.

### **Condições Iniciais de Massa**

Tal como no modelo de fluxo, as condições iniciais de massa do aquífero livre e aquífero confinado são iguais, pois encontram-se em equilíbrio entre si.

Para definir as condições iniciais de massa no aquífero livre e aquífero confinado (*Layer 1* e *2*, respetivamente), assumiu-se que a concentração de cloreto no estuário do Tejo seria igual à da água do mar por serem muito semelhantes. Com base na análise à água do mar da Costa da Caparica realizada no dia 24/09/2002, atribuiu-se o valor de  $17910 \text{ g/m}^3$  de cloreto no estuário do Tejo. Para a restante área de modelação, atribuiu-se  $35 \text{ g/m}^3$  de cloretos por ser a concentração aproximada para as águas subterrâneas da Bacia do Baixo-Tejo, quando livres de perturbações. Com base na análise química de cloretos para o aquífero semiconfinado (*Layer 3*) (capítulo 6), atribuíram-se  $35 \text{ g/m}^3$  de cloretos em toda a área modelada, com exceção da frente ribeirinha, onde se atribuiu  $45 \text{ g/m}^3$ , e das captações F7 e F12, onde se detetaram concentrações de  $72$  e  $56 \text{ g/m}^3$  de cloretos, respetivamente.

As condições iniciais de massa foram inseridas no menu *Models – MT3D – Inicial Concentration*.

### **Adveção:**

Para definir a adveção, inseriram-se os valores definidos por defeito, à exceção do número máximo do total de partículas em movimento (MXPART), em que foi necessário aumentar para o valor de 160000.

### **Dispersividade**

Segundo Ferreira (2012), os parâmetros associados ao transporte de cloretos são os seguintes:

- Difusão molecular (DMCOEF- The effective molecular diffusion coefficient):  $8.64 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{dia}$ ;
- Dispersividade longitudinal: 15 m;
- Dispersividade transversal: 1,5 m.

Considerou-se que o coeficiente de adsorção de Henry (K) é igual a 1, portanto, a dispersividade transversal horizontal e vertical são iguais.

### Concentração de Entrada de Massa

#### ▪ Concentração de entrada de massa constante

No aquífero livre e aquífero (*Layer 1 e 2*, respetivamente), inseriram-se células de concentração de entrada de massa constante no rio Lagos (a sul) com um valor de  $35 \text{ g/m}^3$  e no limite interior do estuário do Tejo com um valor de  $17910 \text{ g/m}^3$ . No aquífero semiconfinado (*Layer 3*), inseriram-se apenas no rio Lagos (a sul), com um valor de  $35 \text{ g/m}^3$ .

#### ▪ Recarga

A tendência da recarga através da água da chuva é diluir a água do aquífero, logo, para representar a concentração de cloreto de acordo com a análise química mencionada no capítulo 6, igualou-se a concentração da água da chuva à do aquífero ( $35 \text{ g/m}^3$ ).

A concentração de entrada de massa constante e a recarga foram inseridas no menu *Models – MT3D – Sink / Source Concentration*.

### 8.4. Resultados da Modelação Matemática

As condições admitidas para a modelação do fluxo subterrâneo basearam-se na simulação do escoamento em regime estacionário com extração apenas nas captações da CMB e do Parque Empresarial Baía do Tejo, de modo a aproximar o nível piezométrico à realidade (Figura 8.13).

No aquífero livre, o gradiente hidráulico (cota piezométrica de 26 m a sul na área de modelação e 0 m no estuário) gera escoamento subterrâneo em direção ao estuário, no sentido SSE-NNW, para o que se admite ser o local de descarga do sistema aquífero Mio-Pliocénico do Tejo.

No aquífero, apesar da tendência de escoamento ser idêntica à do aquífero livre, no sentido SSE-NNW, para o estuário, verifica-se que a carga hidráulica deste em relação ao aquífero livre se situa em valores inferiores (-3,80 m) e a existência de uma depressão generalizada dos níveis piezométricos. Esta situação leva à inversão da drenância, resultando escoamento vertical invertido, do aquífero livre para o aquífero e não em sentido contrário como seria expectável numa zona de descarga.

No aquífero semiconfinado, verifica-se uma diminuição muito acentuada dos níveis hidrodinâmicos relativamente às restantes unidades hidrogeológicas, principalmente nas áreas envolventes às captações da CMB e Parque Empresarial Baía do Tejo, que variam entre -58,78 m e -2,55 m, resultando cones de rebaixamento localizados e profundos, que, conseqüentemente, desencadeiam inversão no sentido da drenância do aquífero tal como acontece entre este e o aquífero livre.

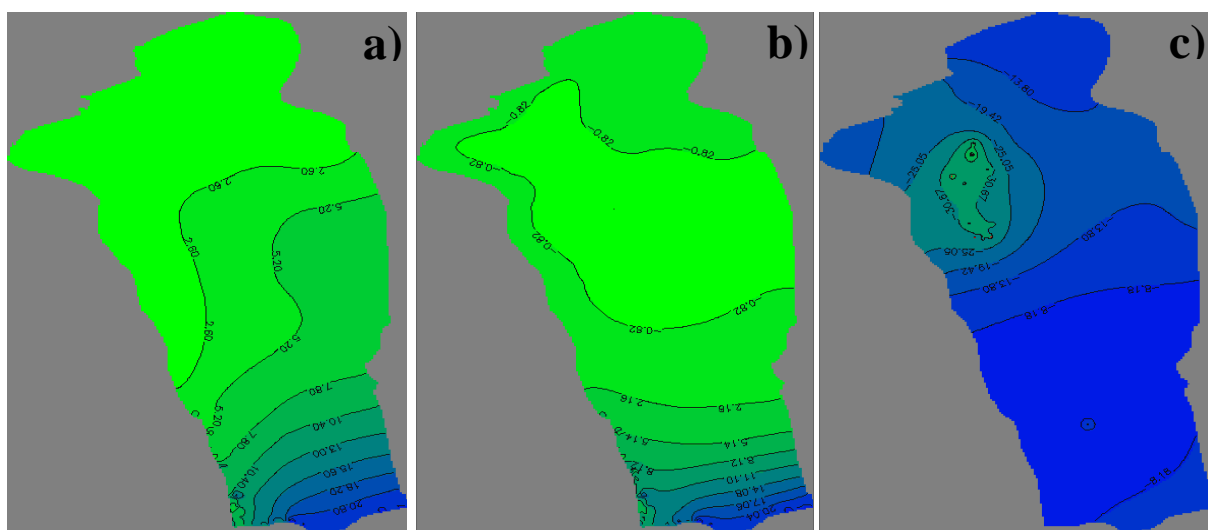


Figura 8.13: Simulação do fluxo subterrâneo em regime estacionário. a) Aquífero superior livre; b) Aquífero confinado; c) Aquífero semiconfinado.

Simulando o escoamento subterrâneo em regime transitório, no intervalo de tempo a 1 ano, 2 anos, 10 anos e 20 anos, ou seja, no horizonte temporal de 2021, 2022, 2030 e 2040 (Figura 8.14 a,b, c e Figura 8.15 a, b, c), observou-se que, para o aquífero superior livre, a carga hidráulica varia muito pouco ao longo do tempo, entre 0 m e 26 m, e que o sentido de escoamento se mantém, notando-se apenas um decréscimo entre 2021 e 2022, com estabilização ao fim de 10 e 20 anos, igualando os valores obtidos em regime estacionário.

No imediato, no ano de 2021, apesar da tendência de escoamento do aquífero livre, sentido SSE-NNW, verifica-se que a carga hidráulica não diminui uniformemente em toda a área do sistema aquífero, mostrando zonas com níveis piezométricos mais elevados, cuja ocorrência se justifica com heterogeneidades no aquífero relacionadas com alterações na espessura e na condutividade hidráulica. Comparando os níveis piezométricos do aquífero ao longo do tempo, verifica-se que estes efeitos surgem atenuados. Contudo, em 2030 e 2040, já se observa uma grande depressão dos níveis piezométricos neste local, à semelhança do que acontece em regime estacionário. Assim, a simulação da piezometria no aquífero, para 2021, varia entre -1,24 m e 26 m, para 2022 entre -2,49 m e 26 m, para 2030 entre -3,72 m e 26 m, e para 2040 entre -3,80 m e 26 m.

No aquífero semiconfinado, observa-se uma diminuição muito acentuada na carga hidráulica relativamente às restantes unidades hidrogeológicas, principalmente nas áreas envolventes às captações da CMB e do Parque Empresarial Baía do Tejo, resultando num aumento progressivo dos cones de rebaixamento. Comparando os níveis piezométricos do aquífero semiconfinado ao longo do tempo, verifica-se uma diminuição na carga hidráulica, sendo mais evidente entre 2021 e 2022, atenuando entre 2022 e 2030, para estabilizar até 2040, igualando a carga hidráulica simulada em regime estacionário. Assim, a simulação da piezometria no aquífero semiconfinado, para 2021, resulta em valores variáveis entre -57,98 m e -2,55 m, para 2022 entre -58,66 m e -2,55 m e para 2030 e 2040 entre -58,78 m e -2,55 m.

Em zonas de descarga, é expectável que a carga hidráulica do aquífero semiconfinado seja superior à do aquífero livre, e que o escoamento ocorra na vertical em sentido ascendente, contudo, a modelação do fluxo subterrâneo em regime estacionário e transitório, nas condições de exploração vigentes, mostra a carga hidráulica do aquífero semiconfinado inferior à do livre, com escoamento descendente, invertido em relação ao que aconteceria em equilíbrio, evidenciando situações de sobreexploração do sistema aquífero. O desequilíbrio provocado pelas extrações torna o sistema aquífero bastante vulnerável à intrusão salina pela captura de água salobra do estuário, diminuindo a qualidade da água captada nos furos.

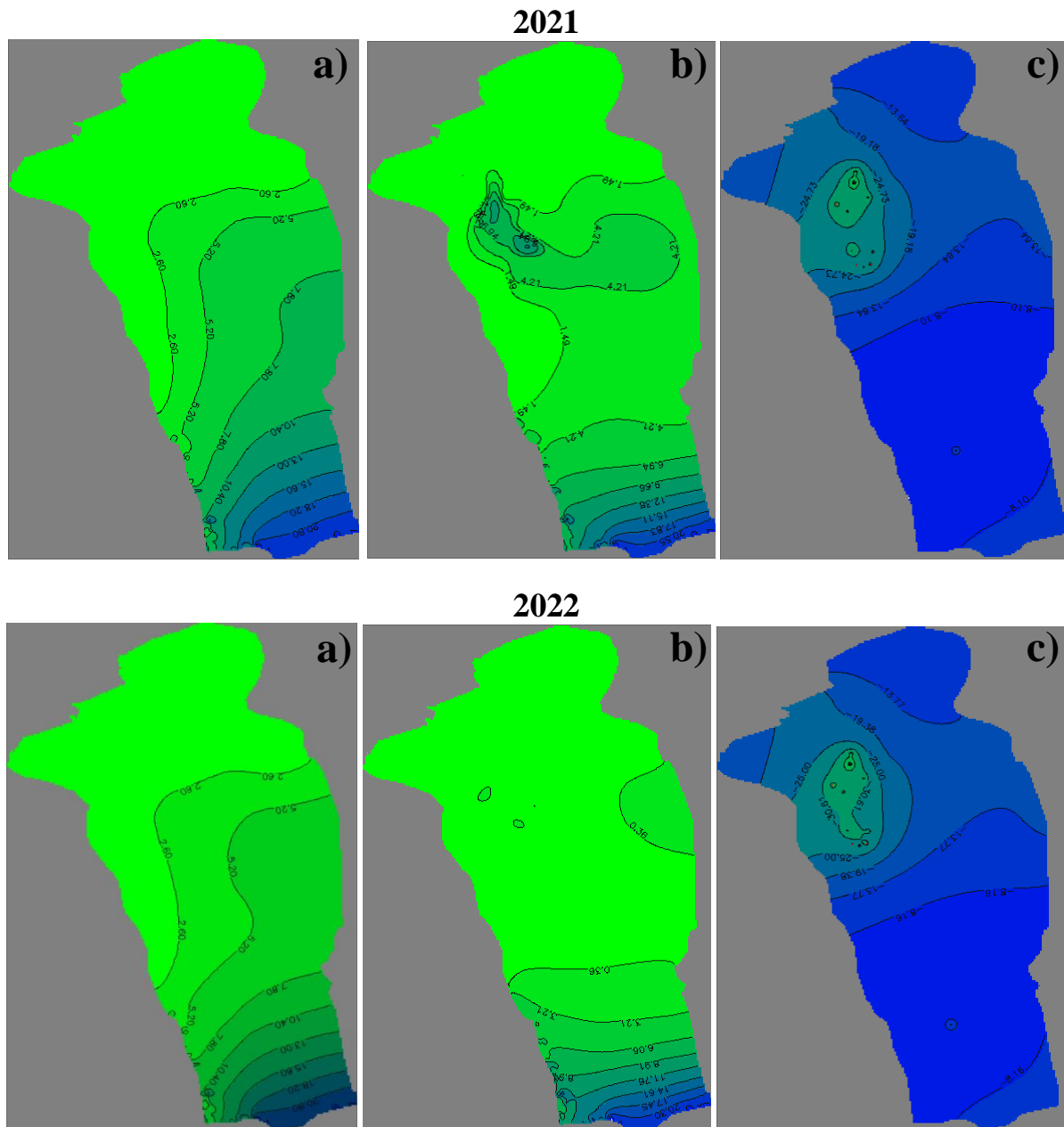


Figura 8.14 a) b) c): Simulação do fluxo subterrâneo em regime transitório, para o horizonte temporal 2021 e 2022. a) Aquífero superior livre; b) Aquitardo; c) Aquífero confinado.

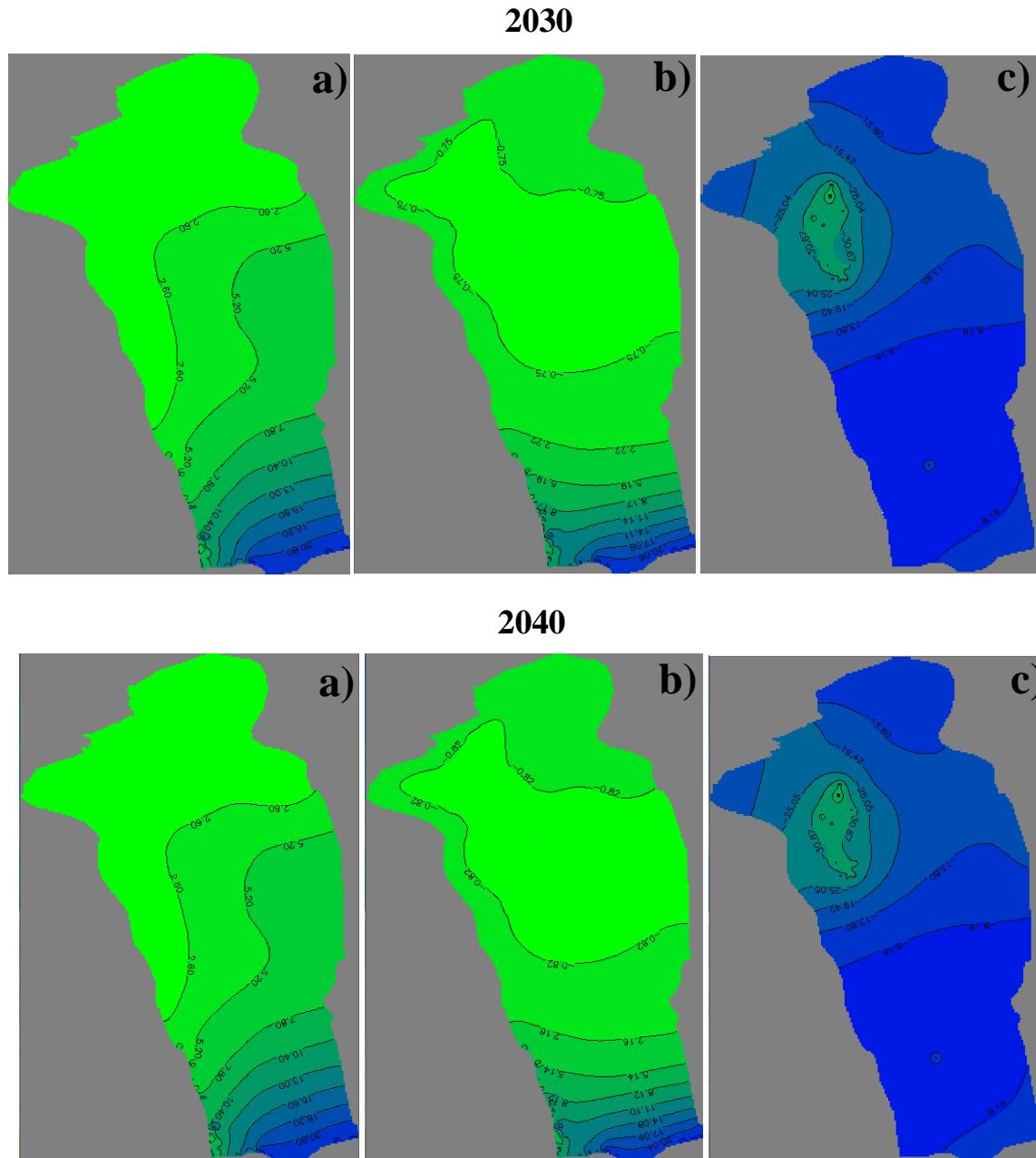


Figura 8.15 a) b) c): Simulação do fluxo subterrâneo em regime transitório, para o horizonte temporal 2030 e 2040. a) Aquífero superior livre; b) Aquitardo; c) Aquífero confinado.

Para avaliar a dimensão do problema e a sua localização tendencial futura, a tentativa de modelação do transporte de massa ensaiada, considerando as concentrações do ião cloreto na água do estuário, no aquífero e nas captações, nas condições do modelo de fluxo proposto, revelou-se inconclusiva. Tal, deveu-se certamente à falta de dados representativos dos parâmetros físicos, químicos e hidráulicos do sistema e das condições de exploração, absolutamente necessários para os fins em vista.



### 9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FUTURAS

Neste estudo, foram considerados dados de 150 pontos das entidades CMB, GPEP, SNIRH, Parque Empresarial Baía do Tejo e LNEG, obtidos em sondagens para pesquisa e eventual transformação em captação de água subterrânea, da rede de monitorização de quantidade e qualidade e de uma sondagem de pesquisa de petróleo, dos quais 53 apresentam informação detalhada, nomeadamente, geológica, hidrogeológica e hidroquímica.

A interpretação dos dados recolhidos permitiu definir o modelo geológico e propor o modelo hidrogeológico conceptual, a partir dos quais foi simulado o fluxo subterrâneo, em regime estacionário e transitório, em MODFLOW, com o objetivo de avaliar os riscos associados à fonte de captação no município do Barreiro por intrusão salina.

O modelo geológico permitiu concluir que existe uma depressão mais a norte da Península de Setúbal, alongada na direção NE-SW, que engloba os municípios do Seixal, Barreiro, Moita, e possivelmente, o Montijo, e outra situada a SSW de Pinhal Novo e a NW de Palmela que se trata de uma deformação em sinforma (provavelmente miocénica), com 230 a 235 m de profundidade, assim como, um desnível entre as duas margens da ribeira de Coina, possivelmente provocado por um acidente tectónico existente ao longo da ribeira.

O modelo hidrogeológico conceptual do sistema aquífero do Tejo-Sado/Margem esquerda consiste num sistema multicamada constituído por três aquíferos, um superior livre instalado nas aluviões do Quaternário e nas areias do Pliocénico, um semiconfinado, instalado nas camadas da base do Pliocénico e nas camadas biocalcareníicas do Miocénico superior a médio, e um confinado, mais profundo e menos conhecido, nas camadas da base do Miocénico. Entre os aquíferos do Plio-Quaternário e do Mio-Pliocénico existe um nível arenoargiloso que conecta com as duas unidades aquíferas em toda a área de estudo, funcionando como aquífero, e na base dos aquíferos semiconfinado e confinado ocorre um nível argilomargoso que funciona como um aquíclodo.

O aquífero superior livre tem uma espessura variável entre 10 e 139 m, que atinge valores maiores no setor intermédio da área de estudo, e valores menores no setor norte (em Verderena, Alto do Seixalino, Lavradio, Baixa da Banheira e Alhos Vedros), a oeste (F51), e a sul (F50). A condutividade hidráulica horizontal desta unidade hidrogeológica oscila entre 0,03 e 26,68 m/dia, com um valor médio de 5,94 m/dia, atingindo valores mais elevados no setor norte da área de estudo, e a condutividade hidráulica vertical é duas ordens de grandeza inferior à horizontal em todas as unidades hidrogeológicas.

O aquífero confinado tem uma espessura variável entre 31 e 185 m, com valores mais baixos em AC5, diminuindo para oeste, e valores mais elevados entre o Alto do Seixalinho, Lavradio e Baixa da Banheira (F5, F69 e FR4), em Alhos Vedros (F76), Vinha das Pedras (F100 e FR8) e Telha (AC3). Nos setores intermédio e sul da área de estudo, o aquífero é pouco espesso à exceção dos locais onde se encontram as sondagens F51 e F50. A condutividade hidráulica horizontal desta unidade hidrogeológica oscila entre 0,01 e 18,91 m/dia, com um valor médio de 2,91 m/dia, atingindo valores mais elevados desde a Vinha das Pedras até à Baixa da Banheira, e na sondagem F5 até à frente ribeirinha.

O aquífero semiconfinado tem uma espessura variável entre 27 e 199 m, sendo maior onde se localiza a sondagem F10 e na região entre a Verderena e Alto do Seixalinho, e menor em Vinha das Pedras, Quinta da Lomba, Telha e Vale do Trabuco. A transmissividade desta unidade hidrogeológica oscila entre 10,6 e 969,3 m<sup>2</sup>/dia, com um valor médio de 388,3 m<sup>2</sup>/dia, atingindo valores mais elevados junto ao estuário e onde se localiza a sondagem F51, e valores mais baixos em Vinha das Pedras, Alto do Seixalinho, Quinta da Lomba (AC6) e no extremo sul da área de estudo devido ao incremento da componente argilosa na base do Pliocénico, e da componente margosa nas camadas miocénicas.

O aquíclodo e aquífero confinado profundo apresentam espessuras variáveis entre 120 e 136 m, e 108 e 116 m, respetivamente.

---

## 9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FUTURAS

---

O modelo hidrogeológico conceptual do funcionamento hidráulico permitiu concluir que o escoamento subterrâneo ocorre de SSE para NNW, desde a zona de recarga, situada nos afloramentos das unidades miocénicas no flanco Norte da Serra da Arrábida, em direção ao estuário do Tejo; que existe comunicação hidráulica entre os aquíferos através do aquífero, e entre o estuário do Tejo e o aquífero superior livre e aquífero; e que o aquífero semiconfinado apresenta um rebaixamento progressivo do nível hidrostático no tempo, de modo que se confunde hoje em dia com o nível hidrodinâmico persistente, rebaixamento esse que é resultado da sobreexploração do sistema, podendo facilitar a intrusão de águas salobras do estuário para o sistema aquífero e salinização das captações.

As condições admitidas na modelação do fluxo subterrâneo consideraram o escoamento em regime estacionário e com extração apenas nas captações da CMB e do Parque Empresarial Baía do Tejo, de modo a simular o nível piezométrico e aproximá-lo à realidade, e em seguida, em regime transitório no intervalo de tempo de 1 ano, 2 anos, 10 anos e 20 anos, ou seja, no horizonte temporal de 2021, 2022, 2030 e 2040.

A calibração do modelo de fluxo subterrâneo possibilitou estimar a dimensão da extração na área de modelação para além da que é da responsabilidade da CMB e do Parque Empresarial Baía do Tejo, nas condições de exploração vigentes. O volume de exploração total indicado por estas entidades corresponde a 18102 m<sup>3</sup>/dia e o volume total ajustado para calibração corresponde a 41019 m<sup>3</sup>/dia, ou seja, está a ser extraído um volume de água noutras captações correspondente a cerca de 22917 m<sup>3</sup>/dia, representando um volume 2,27 vezes superior ao captado pela CMB e pelo Parque Empresarial Baía do Tejo.

Os resultados provenientes da simulação do fluxo subterrâneo permitiram concluir que, no aquífero livre, o gradiente hidráulico varia muito pouco ao longo do tempo e gera escoamento subterrâneo em direção ao estuário, no sentido SSE-NNW, para o que se admite ser o local de descarga do sistema aquífero Mio-Pliocénico do Tejo; no aquífero, apesar da tendência de escoamento ser idêntica à do aquífero livre, a carga hidráulica deste em relação ao aquífero livre apresenta valores inferiores e não diminui uniformemente em toda a área do sistema aquífero, mostrando zonas com níveis piezométricos mais elevados, cuja ocorrência se justifica com heterogeneidades no aquífero relacionadas com alterações na espessura e na condutividade hidráulica, contudo, esses efeitos vão-se atenuando ao longo do tempo, pelo que, em 2030 e 2040, já se observa uma grande depressão dos níveis piezométricos neste local; e no aquífero semiconfinado, ocorre uma diminuição muito acentuada dos níveis hidrodinâmicos relativamente às restantes unidades hidrogeológicas, principalmente nas áreas envolventes às captações da CMB e Parque Empresarial Baía do Tejo, sendo que esta diminuição ocorre também ao longo do tempo, resultando num aumento progressivo dos cones de rebaixamento.

Em zonas de descarga, é expectável que a carga hidráulica do aquífero semiconfinado seja superior à do aquífero livre, e que o escoamento ocorra na vertical em sentido ascendente, contudo, a modelação do fluxo subterrâneo em regime estacionário e transitório, nas condições de exploração vigentes, mostra a carga hidráulica do aquífero semiconfinado inferior à do livre, com escoamento descendente, invertido em relação ao que aconteceria em equilíbrio, evidenciando situações de sobreexploração do sistema aquífero.

A exploração de água destinada ao abastecimento público no Barreiro incide quase exclusivamente no aquífero semiconfinado, pois o aquífero livre está em conexão hidráulica com o estuário, apresentando salinização e, conseqüentemente, água de má qualidade. O desequilíbrio provocado pelas extrações torna o sistema aquífero bastante vulnerável à intrusão salina pela captura de água salobra do estuário, desequilíbrio esse que foi confirmado através da análise estatística, temporal, espacial e em profundidade, da concentração de cloreto detetado nas captações destinadas ao abastecimento público da Câmara Municipal do Barreiro e do Parque Empresarial Baía do Tejo, diminuindo assim a qualidade da água captada para esse fim.



---

As grandes diferenças de carga hidráulica entre o aquífero semiconfinado e o superior livre devido a alterações no regime de exploração por sobreexploração ou sobreposição do efeito de extração de captações próximas exercem uma forte pressão no aquífero semiconfinado, e o facto da zona de chamada das captações aumentar no tempo e no espaço de forma diferente permite a mistura de água de diferentes proveniências, principalmente do aquífero superior livre com o aquífero semiconfinado por drenância do aquífero, alterando a composição da água.

A captação FR1 apresenta valores elevados de concentração de cloreto, possivelmente pela proximidade com a ribeira da Moita (ciclo de marés) ou ocorrência de problemas na impermeabilização da captação por envelhecimento da mesma, nomeadamente, assentamentos posteriores, corrosão ou ruturas, que facilitam a mistura com águas mais superficiais, colocando o aquífero superficial em comunicação hidráulica com o aquífero semiconfinado. Sugere-se a realização de um diagnóstico à captação no sentido de descobrir a causa desta mistura, e a selagem da mesma.

A análise química à concentração do ião cloreto na água do aquífero semiconfinado permitiu concluir também que existem duas zonas de entrada de água com concentração elevada de cloreto problemáticas, alertando para uma possível vulnerabilidade do sistema aquífero associada à frente estuarina e às ribeiras associadas à mesma, podendo ocorrer fenómenos de intrusão salina em que o aquífero alimenta o aquífero semiconfinado por drenância sempre que este é solicitado.

Assim, sugere-se que as futuras captações para abastecimento público sejam construídas de forma mais cuidada, isolando bem as camadas superiores correspondentes ao aquífero superior livre e aquífero. Na zona frente ao estuário, mesmo com captações bem isoladas, é difícil contornar o problema, logo, é de evitar construir futuras captações para abastecimento público neste local.

Para avaliar a dimensão do problema e a sua localização tendencial futura, a tentativa de modelação do transporte de massa, considerando as concentrações do ião cloreto na água do estuário, no aquífero e nas captações, nas condições do modelo de fluxo proposto, revelou-se inconclusiva. Tal, deveu-se certamente à falta de dados representativos dos parâmetros físicos, químicos e hidráulicos do sistema e das condições de exploração, absolutamente necessários para os fins em vista.

Sugere-se a construção de um modelo de fluxo subterrâneo e de transporte de massa utilizando um modelo matemático mais sofisticado, preferencialmente em elementos finitos, como o FEFLOW, complementando com campanhas de campo para recolha de novos dados, num panorama temporal e espacial regular.

Os modelos de fluxo subterrâneo não podem ser considerados como verdade absoluta, devendo sempre ser interpretados de forma crítica e com consciência das suas limitações.

## 9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FUTURAS

---

---

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, C., MENDONÇA, J. J. L., JESUS, M. R. & GOMES, A. J. (2000). Sistemas Aquíferos de Portugal Continental. Instituto da Água. Centro de Geologia da Universidade de Lisboa. 661 pp.

ANTUNES, M. T. (1971). Vertebrados fósseis da região de Lisboa. Seu enquadramento Paleocológico. III curso de extensão universitária de ciências geológicas. Centro Est. Geol. Pura e Aplic. Fac. de Ciênc. de Lisboa. LISBOA. pp. 49-72.

ANTUNES, M. T., AZEVEDO, M. T., ESTEVENS, M., GONZÁLEZ-DELGADO, J. A., LEGOINHA, P., PAIS, J., PIMENTEL, N. & SOUSA, L. (2000). Cenozoic of Setúbal Peninsula. Field trip guide, 4th March 2000, *1º Congresso sobre o Cenozóico de Portugal*, Monte de Caparica, 57 pp.

ANTUNES, M. T., ELDERFIELD, H., LEGOINHA, P., NASCIMENTO, A. & PAIS, J. (1999). A stratigraphic framework for the Miocene from the lower Tagus Basin (Lisbon, Setúbal Península, Portugal) Depositional sequences, biostratigraphy and isotopic ages. *Rev. Soc. Geol. Espana*, **12 (1)**: 3 - 15 pp.

AZEREDO, A. & CARVALHO, A. M. (1986). Novos elementos sobre o "Paleogénico" carbonatado dos arredores de Lisboa. *Com. Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, **72 (1 /2)**, 111-118 pp.

AZEVEDO, M., T. (1983). O Sinclinal de Albufeira: Evolução pós-miocénica e reconstituição paleogeográfica. Tese de Doutoramento em Geologia. Faculdade de Ciências de Lisboa, Departamento Geologia, Lisboa. 302 pp.

BETTENCOURT, A.; GOMES, V.; DIAS, A.; FERREIRA, G.; SILVA, M. C. & COSTA, L. (2003). Estuários Portugueses. Instituto da Água.

BONGANHA, C. A., GUIGUER Jr, N., PEREIRA, S. Y., OLIVEIRA, L. C. e RIBEIRO, M. L. (2007). Conceitos e Fundamentos da Modelagem Matemática para Gerenciamento de Recursos Hídricos Subterrâneos. *Revista Analytica*, **30**: 116 - 120 pp.

BREDDIN, H. (1963). Die Grundrisskarten des Hydrogeologischen Kartenwekes der Wasserwirtschaftsverwaltung von Norgrhein-Westfalen. *Geologische Mitteilungen*, v. 2, n. 4, 393-416 pp.

BROGUEIRA, M. J. & CABEÇADAS, G. (2006). Identification of similar environmental areas in Tagus estuary by using multivariate analysis. *Ecological Indicators*, 6(3), 508–515.

CABRAL, J. (1995). Neotectónica em Portugal Continental. *Memórias do Instituto Geológico e Mineiro*, **31**: 265 pp.

CABRAL, J. J. (2004). Sustentabilidade de aquíferos costeiros. Suplemento - XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. São Paulo (Brasil), 2004, ABAS. 13 pp.

CAÇADOR, I.; VALE, C. & CATARINO, F. (1996). Accumulation of Zn, Pb, Cu, Cr and Ni in Sediments Between Roots of the Tagus Estuary Salt Marshes, Portugal. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 42, 393–403.

---

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 
- CÂMARA, A. S., CARDOSO DA SILVA, M., RAMOS, L. & FERREIRA, J. G. (1987). Tejo I: An interactive program for the division of estuaries into homogeneous areas. *Water, Science and Technology*, **19**: 43 - 51 pp.
- CARVALHO, A. M. G. (1968). Contribuição para o conhecimento geológico da bacia terciária do Tejo. *Mem. Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, 15, 210 pp.
- CMB (2013). Proposta de delimitação de Perímetros de Protecção de captações de água subterrânea destinadas ao abastecimento público do concelho do Barreiro. Joaquim Capucho. 80 pp.
- CMB (2019). Controlo da Qualidade da Água para Consumo Humano. Departamento de Águas e Higiene Urbana, Divisão de Águas e Saneamento. Relatório Anual de 2019. 49 pp.
- COTTER, J. C. B. (1956). O Miocénico marinho de Lisboa. *Com. Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, Supl. ao T. XXXVI, 174 pp.
- CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M. R. (1983). Hidrología subterrânea. Editorial Omega, Barcelona, Vol. 1 e 2, 1154 pp.
- FELISA, G., CIRIELLO, V. & DI FEDERICO, V. (2013). Saltwater Intrusion in Coastal Aquifers: A Primary Case Study along the Adriatic Coast Investigated within a Probabilistic Framework. *Water*, **5**: 1830 - 1847 pp.
- FERNANDES, R. (2005). Modelação Operacional no Estuário do Tejo. Tese de Mestrado em Ecologia, Gestão e Modelação dos Recursos Marinhos. Instituto Superior Técnico, Lisboa. 95 pp.
- FERREIRA DA SILVA, J. (2003). Gestão otimizada à escala regional de sistemas aquíferos potencialmente sujeitos à intrusão salina: Um modelo global para o uso sustentável da água em regiões costeiras. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil. Universidade do Minho, Guimarães. 410 pp.
- FERREIRA DA SILVA, J. F. & HAIE, N. (2004). Localização otimizada de captações em aquíferos potencialmente sujeitos à intrusão salina. 7º Congresso Nacional da Água. LNEC (Lisboa), 2004, APRH. 15 pp.
- FERREIRA, F. (2012). Avaliação dos Impactes das Alterações Climáticas nos Aquíferos Costeiros do Concelho de Almada. Dissertação de Mestrado em Geologia Aplicada. Especialização em Hidrogeologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Departamento de Geologia, Lisboa. 89 pp.
- FETTER, C.W. (1994). *Applied Hydrogeology* (third edition). Editions Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA. Martinez, M.V.
- FIALHO, R. (2009). Caracterização dos parâmetros hidráulicos do sistema aquífero da bacia do Tejo Sado/margem esquerda na área do concelho do Seixal. Tese de Mestrado em Hidráulica e Recursos Hídricos. Instituto Superior Técnico. Lisboa, 113 pp.
- FREEZE, R. A. & CHERRY, J. A. (1979). *Groundwater*. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall. 604 pp.
- FREIRE, P. (1999). Evolução morfo-sedimentar de margens estuarinas (Estuário do Tejo, Portugal). Dissertação de Doutoramento, Universidade de Lisboa, 320 pp.
-

- 
- GAMEIRO, C. (2009). Fitoplâncton do Estuário do Tejo: Dinâmica sazonal, estrutural, interanual, e produção primária. Tese de Doutoramento em Biologia na especialidade de Ecologia. Departamento de Biologia Vegetal, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa. 161 pp.
- GLOVER R, E. (1964). The pattern of fresh- water flow in a coastal aquifer. In: Sea water in coastal aquifers, U.S. Geol. Survey Water Supply, Pap. 161 3-C, pp. 32-35.
- GUERREIRO, M., FORTUNATO, A. B., FREIRE, P., RILO, A., TABORDA, R., FREITAS, M. C., ANDRADE, C., SILVA, T., RODRIGUES, M., BERTIN, X. & AZEVEDO, A. (2015). Evolution of the hydrodynamics of the Tagus estuary (Portugal) in the 21st century. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, **15(1)**: 65 - 80 pp.
- HIDROPROJECTO (2007). Plano de Ordenamento e Gestão para a Reserva Natural do Estuário do Tejo. Estudos de Base. Etapa 1 - Descrição. (Vol. Volume I/III). Instituto da Conservação da Natureza e da Biodiversidade, 218 pp.
- HISCOCK, K. (2005). *Hydrogeology. Principles and Practice*. Blackwell Publishing, Malden, Oxford, Carlton, 389 pp.
- KULLBERG, M. C., KULLBERG, J. C. & TERRINHA, P. (2000). Tectónica da Cadeia da Arrábida. Tectónica das regiões de Sintra e Arrábida. *Memórias Geociências. Museu Nac. Hist. Nat. Universidade de Lisboa*, **2**: 35 - 84 pp.
- LOBO FERREIRA, J. P. & CABRAL, M. (1991). Proposal for an Operational Definition of Vulnerability for the European Community's Atlas of Groundwater Resources. in Meeting of the European Institute for Water. Groundwater Work Group Brussels.
- LOUREIRO, J. M. (1979). Curvas de duração dos caudais médios diários do rio Tejo. *in* Nutrientes do estuário do Tejo – Comparação da situação em caudais médios e em cheia, com destaque para alterações na qualidade da água. I Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- MANUPPELLA, G., ANTUNES, M. T., PAIS, J., RAMALHO, M. & REY, J. (1999). Notícia Explicativa da Folha 38-B Setúbal. Instituto Geológico e Mineiro. Departamento de Geologia, Lisboa, 143 pp.
- MARTINS, A., ROSA, J. & SIMAS, L. (2019). Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal - Vol. 2 Controlo da Qualidade da Água para Consumo Humano. Departamento da Qualidade. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, 116 pp.
- MARTINS, A., ROSA, J., GUERREIRO, S. & SIMAS, L. (2020). Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal - Vol. 2 Controlo da Qualidade da Água para Consumo Humano. Departamento da Qualidade. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, 125 pp.
- MENDONÇA, J. P. (2007). Caracterização geológica e hidrogeológica da Bacia Terciária do Tejo-Sado. *in* Tágides, os aquíferos das bacias hidrográficas do rio Tejo e das ribeiras do Oeste: saberes e reflexões. *ARH Tejo*. 59 - 65 pp.
- MIDÕES, C. & FERNANDES, J. (s.d.). Hidrogeologia Água subterrânea Conhecer para proteger e preservar. Publicação sob o projeto N.º P-IV-10052 do Programa Ciência Viva. Div. de Recursos Hidrogeológicos e Geotérmicos do IGM e INAG/FCUL, 24 pp.
-

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 
- MONIZ, C. (2010). Contribuição para o conhecimento da falha de Pinhal Novo – Alcochete, no âmbito da neotectónica do vale inferior do Tejo. Dissertação de Mestrado em Geologia. Especialidade em Geologia Estrutural, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Departamento de Geologia, Lisboa, 128 pp.
- MOREIRA, S. (2015). Contributo da geoquímica e sedimentologia na caracterização de influências antropogénicas em ambientes estuarinos. Dissertação de Doutoramento em Geologia. Especialidade em Geoquímica, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Departamento de Geologia, Lisboa, 315 pp.
- MORFEED (2013). Morphodynamic Feedback of Estuarine Margins to Climate Change. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Departamento de Hidráulica e Ambiente. Final Report. 51 pp.
- NEVES, F. (2010). Dynamics and hydrology of the Tagus Estuary: results from in situ observations. Dissertação de Doutoramento, Universidade de Lisboa, 240 pp.
- NOGUEIRA MENDES, R., CEIA, R., SILVA, T., RILO, A., GUERREIRO, M., CATALÃO, J., TABORDA, R., FREITAS, M. C., ANDRADE, C., MELO, R., FORTUNATO, A. & FREIRE, P. (2012). Detecção Remota e Cartografia do Intertidal. O contributo do Projeto MorFeed. Actas das 2<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica, Ed. Instituto Hidrográfico, Lisboa. 341 - 344 pp.
- PAIS, J. (1981). Contribuição para o conhecimento da vegetação miocénica da parte ocidental da bacia do Tejo. Dissertação de Doutoramento, Universidade Nova de Lisboa, 328 pp.
- PAIS, J. (1986) Évolution de la végétation et du climat pendant le Miocène au Portugal. *Ciências da Terra* (UNL), Lisboa, 8, 179-191 pp.
- PAIS, J., CUNHA, P., PEREIRA, D., LEGOINHA, P., DIAS, R., MOURA, D., BRUM DA SILVEIRA, A., KULLBERG, J. & GONZÁLEZ DELGADO, J. A. (2012). The Paleogene and Neogene of Western Iberia (Portugal). A Cenozoic record in the European Atlantic domain. Springer Briefs in Earth Sciences. 1st edition. 2012, VI, 156 pp.
- PAIS, J., LOPES, C., LEGOINHA, P., RAMALHO, E., FERREIRA, J., RIBEIRO, I., AMADO, A., SOUSA, L., TORRES, L., BAPTISTA, R. & REIS, R. (2003). Sondagem de Belverde (Bacia do Baixo Tejo, península de Setúbal, Portugal). *Ciências da Terra*, Vol. Especial V, CD-Rom, A99-A102 pp.
- PAIS, J. (2004). The Neogene of the Lower Tagus Basin (Portugal). *Revista Española de Paleontología*, **19 (2)**: 229 - 242 pp.
- PAIS, J., MONIZ, C., CABRAL, J., CARDOSO, J. L., LEGOINHA, P., MACHADO, S., MORAIS, M. A., LOURENÇO, C., RIBEIRO, M. L., HENRIQUES, P. & FALÉ, P. (2006). Notícia Explicativa da Folha 34-D Lisboa. Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação. Departamento de Geologia. 74 pp.
- PNUD (1980). Étude des eaux souterraines de la péninsule de Setúbal (système aquifère Mio-Pliocène du Tejo et du Sado). Rapport final sur les résultats du project, conclusions et recommandations. Programme des Nations Unies pour le Developpement, Direção Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Lisboa.
-

- 
- PRITCHARD, D. W. (1952). Estuarine hydrography. In: H. E. Landsberg (Ed.), *Advances in Geophysics*. Academic Press, 243–280.
- QUARESMA, A. (2015). Estudo da recarga artificial de aquíferos como meio de mitigação da contaminação por nitratos. Caso de estudo na região de Loures. Dissertação de Mestrado em Geologia Aplicada. Especialização em Hidrogeologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Departamento de Geologia, Lisboa. 130 pp.
- RIBEIRO, A., ANTUNES, M. T., FERREIRA, M. P., ROCHA, R. B., SOARES, A. F., ZBYSZEWSKI, G., ALMEIDA, F. M., CARVALHO, D. & MONTEIRO, J. H. (1979). *Introduction à la Géologie Générale du Portugal*. Serviços Geológicos de Portugal. Serviços de Portugal. Lisboa. 114 pp.
- SÉCIO, H. (2012). Fundamentos para a integração, em estruturas ecológicas, das linhas de água que drenam o concelho do Barreiro. Relatório Final de Estágio do Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território. Instituto de Geografia e de Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa. 129 pp.
- SIMÕES, M. (1998). Contribuição para o Conhecimento Hidrogeológico do Cenozóico na Bacia do Baixo Tejo. Dissertação de Doutoramento em Geologia. Especialização em Hidrogeologia. Universidade NOVA de Lisboa, Departamento de Ciências da Terra, Monte da Caparica. 310 pp.
- SIMÕES, M. (2010). Estimativa da condutividade hidráulica pela curva de distribuição granulométrica do aquífero Plio-quadernário da Bacia do Baixo Tejo, em Belverde (Portugal). *Geociências, UNESP, São Paulo*, 2010. V. 29, n. 3. 375 - 387 pp.
- TABORDA, R.; FREIRE, P.; SILVA, A. N.; ANDRADE, C. & FREITAS, M. D. C. (2009). Origin and evolution of Tagus estuarine beaches. *Journal of Coastal Research*, (SI 56), 213–217.
- VALE, C. & SÜNDBY, B. (1987). Suspended sediment fluctuations in the Tagus estuary on semi-diurnal and fortnightly time scales. *Estuaries Coastal and Shelf Science*, **25**: 495 - 508.
- VIEIRA, J. & MORAIS, C. (2005). Planos de segurança em sistemas públicos de abastecimento de água para consumo humano. Instituto Regulador de Águas e Resíduos, Universidade do Minho. 162 pp.
- WANG, H.F. & ANDERSON, M.P. (1995). *Introduction to Groundwater Modeling-Finite Difference and Finite Element Methods*. Academic Press. 237 pp.
- ZBYSZEWSKI, G. (1967). Contributions à l'étude du Miocène de la Serra da Arrábida. *Serv. Geol. Portugal, Lisboa*, **51**: 37 – 148 pp.
- ZBYSZEWSKI, G., FERREIRA, O. V., MANUPELLA G. & ASSUNÇÃO, C. T. (1965). Carta geológica de Portugal na escala 1/50000. Notícia explicativa da folha 38-B (Setúbal). *Serv. Geol. Portugal, Lisboa*. 134 pp.
- ZEFERINO, J. (2016). Modelação numérica (FEFLOW) e contaminação por intrusão salina do sistema aquífero Mio-Pliocénico do Tejo, na frente ribeirinha do Barreiro. Dissertação de Mestrado em Engenharia Geológica. Universidade NOVA de Lisboa, Departamento de Ciências da Terra, Monte da Caparica. 82 pp.
-

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

ZHENG, C. (1990). MT3D, A modular three-dimensional transport model for simulation of advection, dispersion and chemical reactions of contaminants in groundwater systems. Report to the U.S. Environmental Protection Agency, 170 pp.

ZHENG, C. & WANG, P.P. (1999). MT3DMS, A Modular Three-Dimensional Multispecies Transport Model for Simulation of Advection, Dispersion, and Chemical Reactions of Contaminants in Groundwater Systems. Contract Report SERDP-99-1, US Army Corps of Engineers, Engineer Research and Development Center, Strategic Environmental Research and Development Program, University of Alabama, 164 pp.

### Legislação

Decreto-Lei n.º 152/2017 de 7 de Dezembro. Diário da República n.º 235 - 1.ª série. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Lisboa.

Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto. Diário da República n.º 176 - 1.ª série A. Ministério do Ambiente. Lisboa.

Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto. Diário da República n.º 164 - 1.ª série. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Lisboa.

Decreto-Lei n.º 117/2015, de 23 de Junho. Diário da República n.º 120 - 1.ª série. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia.

Decreto-Lei n.º 77/2006 de 30 de Março. Diário da República n.º 64 - 1.ª série A. Ministério do Ambiente. Lisboa.

Diretiva n.º 2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro.

Diretiva n.º 98/83/CE, do Conselho, de 3 de Novembro de 1998.

Lei da Água publicada na Lei n.º 58/2005 de 29 de Dezembro.

Lei n.º 11-A/2013 de 28 de janeiro. Diário da República n.º 19 - 1.ª série. Reorganização administrativa do território das freguesias. Assembleia da República. Lisboa.

### Cartografia

IGE (2009). Carta Militar de Portugal Série M888 – Folha 431 – Lisboa. Escala de 1:25 000. Instituto Geográfico do Exército. Lisboa.

IGE (2009). Carta Militar de Portugal Série M888 - Folha 442 – Barreiro. Escala de 1:25 000. Instituto Geográfico do Exército. Lisboa.

IGE (2009). Carta Militar de Portugal Série M888- Folha 432 – Montijo. Escala de 1:25 000. Instituto Geográfico do Exército. Lisboa.

IGE (2009). Carta Militar de Portugal Série M888- Folha 443 – Moita. Escala de 1:25 000. Instituto Geográfico do Exército. Lisboa.

---



---

LNEG (2005). Carta Geológica de Portugal - Folha 34 - D (Lisboa). Escala de 1:50 000. Laboratório Nacional de Energia e Geologia. Unidade de Geologia, Hidrogeologia e Geologia Costeira. Lisboa.

### Referências eletrónicas

APA (2016). <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=x77>.

Atlas do Ambiente (2015). [www.iambiente.pt/atlas/est/index.jsp](http://www.iambiente.pt/atlas/est/index.jsp).

CMB (2020). <https://www.cm-barreiro.pt/pages/611>.

ERSAR (2020). <http://www.ersar.pt/pt/o-que-fazemos/controlo-da-qualidade-da-agua>.

IGE (2020). <https://www.igeoe.pt/index.php?id=186&p=1&escala=1&distrito=15&concelho=221>.

SNIRH (2016). <http://snirh.pt/>.

SNIRH (2020). <http://snirh.pt/>.

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

---

# **ANEXOS**

---

## ANEXO 1

Precipitação anual, em mm, registada nas estações meteorológicas de Alcochete (21D/01UG) e Vila Nogueira de Azeitão (22C/02UG), entre outubro de 1977 e outubro de 2018. Base de dados do SNIRH.

DATA	ALCOCHETE (21D/01UG)	VILA NOGUEIRA DE AZEITÃO (22C/02UG)
	Precipitação anual (mm)	Precipitação anual (mm)
01/10/1977	585,0	-
01/10/1978	636,9	-
01/10/1979	428,2	-
01/10/1980	307,9	-
01/10/1981	578,1	-
01/10/1982	230,1	-
01/10/1983	596,5	-
01/10/1984	539,8	-
01/10/1985	382,3	-
01/10/1986	553,4	-
01/10/1987	700,4	938,7
01/10/1988	459,8	616,9
01/10/1989	906,6	1130,3
01/10/1990	581,0	863,4
01/10/1991	360,9	469,5
01/10/1992	539,8	587,6
01/10/1993	562,6	814,5
01/10/1994	316,3	431,4
01/10/1995	956,5	1374,7
01/10/1996	633,4	799,2
01/10/1997	855,4	1050,8
01/10/1998	446,0	621,6
01/10/1999	491,2	640,4
01/10/2000	749,2	1077,1
01/10/2001	408,7	516,6
01/10/2002	-	853,6
01/10/2003	571,0	712,9
01/10/2004	254,7	282,2
01/10/2005	499,1	407,1
01/10/2006	-	527,4
01/10/2007	-	551,6
01/10/2009	-	750,5
01/10/2013	-	68,2
01/10/2014	-	204,2
01/10/2015	-	669,5
01/10/2016	-	417,9
01/10/2017	-	132,1
01/10/2018	-	101,2

---

---

## ANEXO 2

### **Notas da Tabela 2.2, referentes à comparação dos valores paramétricos estabelecidos nos decretos-lei para os parâmetros indicadores:**

- 1) Não é recomendável que a concentração de cálcio seja superior a 100 mg/l Ca (Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de Agosto; Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro).
- 2) Concentração aproximada a partir da qual podem ocorrer efeitos nocivos: 200 mg/l (Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto).
- 3) Recomenda -se que a concentração deste parâmetro na água da torneira do consumidor esteja entre 0,2 e 0,6 mg/l de cloro residual livre ou 0,1 e 0,4 mg/l de dióxido de cloro. No caso dos abastecimentos em alta, recomenda -se que a concentração do desinfetante residual nos pontos de entrega seja, no mínimo, igual ao valor máximo dos intervalos referidos para a torneira do consumidor. A determinação deste parâmetro não é obrigatória nas situações previstas no n.º 3 do artigo 9.º do presente decreto-lei (Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro).
- 4) O valor da dose indicativa (DI) é determinado quando os valores encontrados para o  $\alpha$  – total e ou  $\beta$  – total são superiores aos respetivos níveis de verificação. Nestes casos, procede-se à determinação da DI a partir das concentrações dos radionuclídeos específicos emissores  $\alpha$  e ou  $\beta$  Ca (Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de Agosto; Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro).
- 5) É recomendável que a dureza total em carbonato de cálcio esteja compreendida entre 150 e 500 mg/l CaCO<sub>3</sub> (Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de Agosto; Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro).
- 6) Não é recomendável que a concentração de magnésio seja superior a 50 mg/l Mg (Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de Agosto; Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro).
- 7) Não é desejável que o número de colónias a 22°C seja superior a 100 (Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de Agosto; Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro).
- 8) Não é desejável que o número de colónias a 36°C seja superior a 20 (Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de Agosto; Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro).
- 9) Compete às entidades gestoras, nomeadamente dos sistemas com estações de tratamento de água, assegurar à saída dessas estações a condição  $[\text{nitratos}]/50 + [\text{nitritos}]/3 \leq 1$ , em que os parênteses retos representam as concentrações em mg/l para os nitratos (NO<sub>3</sub>) e para os nitritos (NO<sub>2</sub>), bem como do valor limite de 0,10 mg/l para os nitritos (Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de Agosto; Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro).

### **Notas da Tabela 2.3, referentes à comparação dos valores paramétricos estabelecidos nos decretos-lei para os parâmetros químicos:**

- 1) No caso de canalizações de chumbo, a concentração em chumbo não deverá ser superior a 50 µg/l numa amostra colhida depois da distribuição. Se a amostra é colhida diretamente ou depois da distribuição e a concentração em chumbo ultrapassar frequentemente ou sensivelmente 100 µg/l, devem ser tomadas medidas adequadas a fim de reduzir os riscos de exposição do consumidor ao chumbo (Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto).
- 2) <sup>(1)</sup> Valor a ser cumprido à saída das estações de tratamento. <sup>(2)</sup> Valor a ser cumprido após doze horas de permanência na rede de distribuição e no ponto em que é posta à disposição do consumidor (Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto).

### ANEXO 3

Furos de pesquisa e captação de água subterrânea, e sondagem de prospecção de petróleo de diferentes entidades (CMB, GPEP, SNIRH, Parque Empresarial Baía do Tejo e LNEG) considerados para o estudo.

Identificação			Localização			Características			Tipo
ID	Fonte	Carta	M	P	Local/Entidade	Ano	Prof. (m)	Cota (m)	
AC3	CMB	442	119755	186174	Sete Portais	1987	320	38,0	Furo de captação
AC5	CMB	442	119880	185800	Sete Portais	1992	295	10,0	Furo de captação
AC6	CMB	442	119820	188060	Alto da Paiva	1992	307	25,0	Furo de captação
FR1	CMB	443	120260	185810	Vila Chã	1997	296	24,0	Furo de captação
RA1	CMB	442	119346	187461	Alto da Paiva	2012	300	20,0	Furo de captação
FR3	CMB	443	120071	185742	Vila Chã	1998	298	24,0	Furo de captação
FR4	CMB	443	119850	188350	Alto da Paiva	2001	300	24,0	Furo de captação
FR5	CMB	443	122515	180698	Penalva	2003	290	73,9	Furo de captação
FR6	CMB	442	119640	187265	Alto da Paiva	2003	266	34,2	Furo de captação
FR7	CMB	443	120501	180733	Penalva	2004	300	13,0	Furo de captação
FR8	CMB	443	120176	187659	Alto da Paiva	2009	300	36,0	Furo de captação
RA2	CMB	442	120321,8	186155,6	Vila Chã	2017	300,5	42,0	Furo de captação
F48	SNIRH	443	121600	187300	Vale da Amoreira	-	100	6,2	Furo (Rede de Qualidade)
F536	SNIRH	442	119820	188060	Alto do Paiva	-	307	25,8	Furo (Rede de Qualidade)
F412	SNIRH	442	119880	185800	Vale Romão	-	295	9,03	Furo (Rede de Qualidade)
F38	SNIRH	443	120160	187700	Loios	-	280	27,1	Furo (Rede de Qualidade)
F241	SNIRH	442	119084	186174	Azinheira Velha	-	14,3	9,9	Poço (Rede de Quantidade)
F5	Baía do Tejo	442	118606	189046	C.U.F	-	258	-	Furo de captação
F7	Baía do Tejo	442	118565	188759	C.U.F	-	279	-	Furo de captação
F10	Baía do Tejo	442	118962	189250	Quimigal	-	578,5	-	Furo de captação
F12	Baía do Tejo	442	119181	189814	Quimigal	-	277,5	-	Furo de captação
F75	LNEG	442	118200	188400	C.U.F	1974	297	8,8	Furo de pesquisa e captação
F52	LNEG	442	118570	188750	C.U.F	1971	303	9,9	Furo de pesquisa e captação
F88	LNEG	442	118600	189530	Quimigal	1980	290	3,5	Furo de pesquisa e captação
F86	LNEG	442	119070	189150	Quimigal	1979	602	4,2	Furo de pesquisa e captação
F27	LNEG	442	119080	189240	C.U.F		220	3,5	Furo de pesquisa e captação
F69	LNEG	442	119300	189300	C.U.F	1972	290	3,4	Furo de pesquisa e captação
F97	LNEG	442	119180	189790	Quimigal	1981	291,5	3,5	Furo de pesquisa e captação
F44	LNEG	442	119800	189960	C.P.E	1975	268	4,1	Furo de pesquisa e captação
F59	LNEG	443	120120	189800	Quimigal	1981	312	8,2	Furo de pesquisa e captação
F36	LNEG	432	120220	190110	Fisipe	1976	270	8,5	Furo de pesquisa e captação
F35	LNEG	432	120340	190460	Fisipe	1976	270	3,4	Furo de pesquisa e captação
F12	LNEG	443	120450	189970	Lavradio	1962	231	6,2	Furo de pesquisa e captação
F62	LNEG	432	120650	190420	Lavradio	1980	302	3,2	Furo de pesquisa e captação
F49	LNEG	443	120620	189830	Baixa da Banheira	1981	320	4,6	Furo de pesquisa e captação
F15	LNEG	443	120160	188000	Barreiro	1972	269	20,3	Furo de pesquisa e captação
F16	LNEG	443	120160	187770	Barreiro	1972	280	21,2	Furo de pesquisa e captação
F100	LNEG	442	119700	187720	Barreiro		317	34,8	Furo de pesquisa e captação
F23	LNEG	443	120970	187280	Alhos Vedros	1978	286	11,8	Furo de pesquisa e captação
F76	LNEG	443	121700	187600	Vale da Amoreira	1984	306	2,3	Furo de pesquisa e captação
F50	LNEG	443	120250	185860	Qta da Lomba	1981	270	27,0	Furo de pesquisa e captação
F51	LNEG	443	120080	183350	VI do Zebro	1982	305	2,8	Furo de pesquisa e captação
F89	LNEG	442	114340	187450	Base Naval	1981	262	1,0	Furo de pesquisa e captação

F38	LNEG	442	117300	186480	Canifa	188	0,1	Furo de pesquisa e captação	
F98	LNEG	442	118440	184300	Siderugia	1981	265	3,9	Furo de pesquisa e captação
F40	LNEG	442	119190	187620	Parque da Cidade	130,5	5,0	Furo de pesquisa e captação	
F25	LNEG	454	122200	177500		251	35,0	Furo de pesquisa e captação	
F50	LNEG	454	122180	177970		1980	250	40,0	Furo de pesquisa e captação
F14	LNEG	454	123690	173130	Quinta da Basbaqueira	194,65	102,86	Furo de pesquisa e captação	
F52	LNEG	454	123574	175024		110	80,0	Furo de pesquisa e captação	
F40	LNEG	454	124513	173918	Quinta da Province	120	90,0	Furo de pesquisa e captação	
F41	LNEG	454	124720	174058	Quinta da Province	120	90,0	Furo de pesquisa e captação	
74 (inv.)	LNEG	443	124120	185000	Cabeço Verde	7	20,0	Furo de pesquisa e captação	
32	LNEG	443	125320	180750	Bairro Assunção	60	39,0	Furo de pesquisa e captação	
34	LNEG	443	127350	186500	Bairro Vila Morena	60	37,0	Furo de pesquisa e captação	
35	LNEG	443	128050	185600	Penteado	60	34,8	Furo de pesquisa e captação	
41	LNEG	443	124950	181520	Bairro dos Marinheiros	60	32,0	Furo de pesquisa e captação	
52	LNEG	443	131120	188100	Espinhaço de Cão	80	38,0	Furo de pesquisa e captação	
58	LNEG	443	129300	189420	Malpique	77	10,0	Furo de pesquisa e captação	
62	LNEG	443	125570	186570	Moita	60	10,0	Furo de pesquisa e captação	
70	LNEG	443	127620	188700	Bairro da Bela Vista	77	22,0	Furo de pesquisa e captação	
39	LNEG	442	115560	186450	Seixal	87,2	10,0	Furo de pesquisa e captação	
58	LNEG	442	119900	181340	Coina	80	3,0	Furo de pesquisa e captação	
104	LNEG	442	115500	187250	Ponta dos Corvos	80	2,0	Furo de pesquisa e captação	
Br-1	GPEP	442	117660	185610	GPEP	1957	3611	6,8	Sondagem de prospeção de petróleo

Níveis hidrostáticos, hidrodinâmicos, rebaixamentos, potenciais hidráulicos, caudais de extração e caudais específicos nas unidades hidrogeológicas, baseados nos dados dos relatórios de pesquisa e captação de água situados na área em estudo.

ID	Ano	Cota	NHE (m)	NHD (m)	S (m)	Potencial hidráulico (m)	Qe (l/s)	Qs (l/s/m)	Unidade hidrogeológicas captadas
74 (inv.)	-	20	4	-	-	16	-	-	Aq. Livre
32	-	39	12,6	-	-	26,4	-	-	Aq. Livre
34	-	37	21,45	-	-	15,6	-	-	Aq. Livre
35	-	34,67	26	-	-	8,67	-	-	Aq. Livre
41	-	32	17	-	-	15	-	-	Aq. Livre
52	-	38	32,94	-	-	5,06	-	-	Aq. Livre
58	-	10	1,5	-	-	8,5	-	-	Aq. Livre
62	-	10	3,6	-	-	6,4	-	-	Aq. Livre
70	-	22	12,62	-	-	9,38	-	-	Aq. Livre
39	-	10	7,35	-	-	2,65	-	-	Aq. Livre
58	-	3	0,35	-	-	2,65	-	-	Aq. Livre
104	-	2	1,2	-	-	0,8	-	-	Aq. Livre
F16	1972	21,2	-19,9	-30,3	-10,4	1,3	80,0	7,7	Aq. Livre, Aquitardo e Confinado
F23	1978	11,8	-7,0	-18,6	-11,6	4,8	60,0	5,2	Aq. Livre, Aquitardo e Confinado
F100	-	-46,1	-61,9	-15,8	-46,1	-46,1	45,5	2,9	Aquitardo e Aq. Semionfinado
FR3	1998	24,0	-29,5	-52,85	-23,4	-5,5	55,00	2,4	Aquitardo e Aq. Semionfinado
FR5	2003	73,9	-68,0	-82,2	-14,2	5,9	37,0	2,6	Aquitardo e Aq. Semionfinado
FR1	1997	24,0	-30,2	-58,0	-27,8	-6,2	62,5	2,2	Aquitardo e Aq. Semionfinado

AC3	1987	38,0	-48,4	-66,2	-17,8	-10,4	55,0	3,1	Aquitardo e Aq. Semionfinado
F15	1972	20,3	-15,0	-37,0	-22,0	5,3	60,0	2,7	Aquitardo e Aq. Semionfinado
F76	1984	2,3	-15,0	-36,1	-21,1	-12,7	62,5	3,0	Aquitardo e Aq. Semionfinado
F50	1981	27,0	-23,2	-34,7	-11,5	3,8	60,0	5,2	Aquitardo e Aq. Semionfinado
AC5	1992	10,00	-15,2	-34,0	-18,8	-5,2	70,0	3,7	Aquitardo e Aq. Semionfinado
F50	1980	40,0	-14,9	-20,8	-5,9	25,2	60,0	10,1	Aquitardo e Aq. Semionfinado
F75	1974	8,8	-14,0	-39,0	-25,0	-5,2	75,5	3,0	Aq. Semiconfinado
F52	1971	9,9	-10,3	-28,1	-17,8	-0,4	80,0	4,5	Aq. Semiconfinado
F88	1980	3,5	-18,1	-34,9	-16,8	-14,6	100,0	6,0	Aq. Semiconfinado
F69	1972	3,4	-10,0	-31,4	-21,4	-6,6	80,0	3,7	Aq. Semiconfinado
F97	1981	3,5	-18,6	-34,8	-16,2	-15,1	100,0	6,2	Aq. Semiconfinado
F44	1975	4,1	-9,5	-21,5	-12,0	-5,4	40,0	3,3	Aq. Semiconfinado
F59	1981	8,2	-17,1	-27,0	-9,9	-8,9	70,0	7,1	Aq. Semiconfinado
F36	1976	8,5	-11,5	-20,0	-8,5	-3,0	70,0	8,2	Aq. Semiconfinado
F35	1976	3,4	-9,5	-25,5	-16,0	-6,1	70,0	4,4	Aq. Semiconfinado
F12	1962	6,2	-5,0	-21,0	-16,0	1,2	55,0	3,4	Aq. Semiconfinado
F62	1980	3,2	-13,1	-26,5	-13,4	-9,9	78,0	5,8	Aq. Semiconfinado
F49	1981	4,6	-17,5	-27,5	-10,0	-12,9	70,0	7,0	Aq. Semiconfinado
F51	1982	2,8	-10,5	-18,2	-7,7	-7,7	45,0	5,8	Aq. Semiconfinado
AC6	1992	25,0	-45,8	-87,7	-41,9	-20,8	40,0	1,0	Aq. Semiconfinado
RA1	2012	20,0	-42,2	-64,3	-22,2	-22,2	60,0	2,7	Aq. Semiconfinado
RA2	2017	42,0	-51,1	-85,9	-34,8	-9,1	59,8	1,7	Aq. Semiconfinado
FR4	2001	24,0	-28,0	-50,8	-22,8	-4,0	55,0	2,4	Aq. Semiconfinado
FR6	2003	35,0	-49,5	-73,2	-23,7	-14,5	40,0	1,7	Aq. Semiconfinado
FR7	2004	13,0	-11,0	-27,30	-16,3	2,0	60,0	3,7	Aq. Semiconfinado
FR8	2009	36,0	-38,5	-58,9	-20,4	-2,5	50,0	2,5	Aq. Semiconfinado
F27	-	3,5	-1,7	-28,0	-26,3	1,8	60,0	2,3	Aq. Semiconfinado
F12	-	6,0	-14,0	-28,0	-14,0	-8,0	75,0	5,4	Aq. Semiconfinado
F5	-	4,0	-22,9	-30,6	-7,7	-18,9	20,8	2,7	Aq. Semiconfinado
F7	-	5,0	-15,0	-36,0	-21,0	-10,0	38,9	5,1	Aq. Semiconfinado
F86	1979	4,2	0,8	-21,8	-22,6	3,4	30,0	1,3	Aq. Confinado Profundo
F10	-	6,0	0	-1,3	-1,3	6,0	13,9	10,7	Aq. Confinado Profundo



---

## ANEXO 4

Valores da concentração de cloreto, em mg/l, observados em amostras de água recolhidas nas captações da CMB e no Parque Empresarial Baía do Tejo, entre janeiro de 2012 e outubro de 2020.

CMB			CMB		
ID	Data	Cloreto (mg/l)	ID	Data	Cloreto (mg/l)
AC3	19/01/2012	25	AC5	19/01/2012	31
AC3	15/03/2012	32	AC5	15/03/2012	33
AC3	24/05/2012	25	AC5	24/05/2012	33
AC3	19/07/2012	18	AC5	19/07/2012	27
AC3	20/09/2012	39	AC5	20/09/2012	39
AC3	15/11/2012	17	AC5	15/11/2012	17
AC3	17/01/2013	28	AC5	17/01/2013	10
AC3	14/03/2013	33	AC5	14/03/2013	33
AC3	23/05/2013	51	AC5	23/05/2013	49
AC3	18/07/2013	21	AC5	18/07/2013	30
AC3	24/09/2013	29	AC5	19/09/2013	26
AC3	14/11/2013	25	AC5	14/11/2013	25
AC3	13/03/2014	69	AC5	13/05/2014	40,6
AC3	06/05/2014	26	AC5	15/07/2014	34,5
AC3	29/07/2014	29	AC5	14/04/2015	25,9
AC3	30/09/2014	19	AC5	30/06/2015	38,4
AC3	10/02/2015	28	AC5	11/08/2015	26,2
AC3	28/04/2015	27	AC5	09/12/2015	27,6
AC3	09/06/2015	26	AC5	23/02/2016	39,3
AC3	25/08/2015	27	AC5	26/04/2017	32
AC3	13/10/2015	26	AC5	13/06/2017	40
AC3	22/12/2015	30	AC5	15/02/2018	38
AC3	23/02/2016	36	AC5	24/04/2018	42
AC3	26/04/2016	330	AC5	28-08-2018	47
AC3	26/04/2017	26	AC5	30/10/2018	37
AC3	13/06/2017	30	AC5	18/12/2018	42
AC3	27/02/2018	30	AC5	14/02/2019	37
AC3	24/04/2018	44	AC5	23/04/2019	39
AC3	26/06/2018	36	AC5	12/06/2019	35
AC3	28/08/2018	33	AC5	10/09/2019	36
AC3	09/11/2018	32	AC5	01/10/2019	41
AC3	26/12/2018	28	AC5	27/12/2019	17
AC3	18/12/2018	37	AC5	27/02/2020	24
AC3	14/02/2019	34	AC5	14/04/2020	35
AC3	23/04/2019	38	AC5	30/06/2020	13
AC3	12/06/2019	28	AC5	12/08/2020	15
AC3	10/09/2019	30			
AC3	01/10/2019	27			
AC3	27/12/2019	20			
AC3	12/02/2020	100			
AC3	21/04/2020	25			
AC3	23/06/2020	25			
AC3	30/06/2020	27			
AC3	11/08/2020	16			

---

CMB		
ID	Data	Cloreto (mg/l)
AC6	26/04/2012	30
AC6	24/05/2012	23
AC6	19/07/2012	23
AC6	20/09/2012	33
AC6	15/11/2012	22
AC6	17/01/2013	30
AC6	14/03/2013	30
AC6	23/05/2013	46
AC6	18/07/2013	46
AC6	19/09/2013	38
AC6	14/11/2013	33
AC6	16/01/2014	35
AC6	13/03/2014	86
AC6	13/05/2014	30
AC6	29/07/2014	33
AC6	09/09/2014	32
AC6	25/11/2014	39
AC6	24/02/2015	35
AC6	28/04/2015	36
AC6	13/10/2015	32
AC6	22/12/2015	30
AC6	23/02/2016	32
AC6	12/04/2016	36
AC6	13/04/2017	35
AC6	27/06/2017	33
AC6	12/04/2018	35
AC6	21/08/2018	35
AC6	23-10-2018	35
AC6	18/12/2018	132
AC6	26-12-2018	34
AC6	26/02/2019	34
AC6	10/05/2019	53
AC6	12/06/2019	44
AC6	13/08/2019	34
AC6	29/10/2019	34
AC6	30/12/2019	34
AC6	12/02/2020	24
AC6	28/04/2020	41
AC6	30/06/2020	21
AC6	25/08/2020	40

CMB		
ID	Data	Cloreto (mg/l)
FR1	19/01/2012	61
FR1	15/03/2012	53
FR1	24/05/2012	47
FR1	19/07/2012	54
FR1	20/09/2012	40
FR1	15/11/2012	24
FR1	17/01/2013	92
FR1	14/03/2013	77
FR1	23/05/2013	51
FR1	18/07/2013	13
FR1	19/09/2013	67
FR1	14/11/2013	72
FR1	16/01/2014	170
FR1	13/03/2014	200
FR1	06/05/2014	96
FR1	15/07/2014	90
FR1	30/09/2014	154
FR1	11/11/2014	52
FR1	24/02/2015	237
FR1	28/04/2015	233
FR1	25/08/2015	166
FR1	27/10/2015	166
FR1	29/12/2015	236
FR1	23/02/2016	234
FR1	05/04/2016	250
FR1	06/04/2017	140
FR1	08/06/2017	120
FR1	27/02/2018	120
FR1	24/04/2018	130
FR1	12/06/2018	120
FR1	28-08-2018	130
FR1	30-10-2018	340
FR1	18-12-2018	35
FR1	14/02/2019	132
FR1	23/04/2019	146
FR1	09/07/2019	217
FR1	13/08/2019	137
FR1	01/10/2019	149
FR1	27/12/2019	131
FR1	27/02/2020	130
FR1	14/04/2020	150
FR1	23/06/2020	140
FR1	12/08/2020	300

CMB		
ID	Data	Cloreto (mg/l)
FR3	19/01/2012	130
FR3	15/03/2012	25
FR3	24/05/2012	15
FR3	19/07/2012	21
FR3	20/09/2012	37
FR3	15/11/2012	29
FR3	17/01/2013	24
FR3	14/03/2013	74
FR3	23/05/2013	36
FR3	18/07/2013	22
FR3	24/09/2013	25
FR3	14/11/2013	23
FR3	16/01/2014	26
FR3	13/03/2014	30
FR3	13/05/2014	25
FR3	15/07/2014	24
FR3	09/09/2014	24
FR3	04/11/2014	25
FR3	10/02/2015	26
FR3	23/06/2015	26
FR3	11/08/2015	27
FR3	27/10/2015	248
FR3	29/12/2015	27
FR3	23/02/2016	29
FR3	05/04/2016	36
FR3	26/04/2017	37
FR3	27/06/2017	33
FR3	27/02/2018	25
FR3	24/04/2018	44
FR3	17/07/2018	24
FR3	28-08-2018	29
FR3	30-10-2018	25
FR3	26-12-2018	25
FR3	14/02/2019	25
FR3	10/05/2019	38
FR3	09/07/2019	26
FR3	13/08/2019	26
FR3	07/11/2019	20
FR3	30/12/2019	22
FR3	27/02/2020	21
FR3	21/04/2020	22
FR3	30/06/2020	17
FR3	25/08/2020	15

CMB		
ID	Data	Cloreto (mg/l)
FR4	19/01/2012	35
FR4	15/03/2012	35
FR4	24/05/2012	33
FR4	19/07/2012	30
FR4	20/09/2012	39
FR4	15/11/2012	34
FR4	17/01/2013	37
FR4	14/03/2013	77
FR4	23/05/2013	62
FR4	18/07/2013	33
FR4	19/09/2013	33
FR4	14/11/2013	32
FR4	16/01/2014	37
FR4	13/03/2014	72
FR4	20/05/2014	37
FR4	15/07/2014	33
FR4	16/09/2014	34
FR4	11/11/2014	35
FR4	10/02/2015	34
FR4	14/04/2015	36
FR4	23/06/2015	35
FR4	11/08/2015	34
FR4	06/10/2015	33
FR4	09/12/2015	33
FR4	23/02/2016	45
FR4	12/04/2016	39
FR4	13/04/2017	39
FR4	27/06/2017	42
FR4	15/02/2018	37
FR4	24/04/2018	42
FR4	26/06/2018	36
FR4	21/08/2018	33
FR4	16-10-2018	39
FR4	18-12-2018	37
FR4	14/02/2019	49
FR4	09/04/2019	266
FR4	12/06/2019	37
FR4	27/08/2019	37
FR4	15/10/2019	40
FR4	12/12/2019	82
FR4	12/02/2020	77
FR4	14/04/2020	56
FR4	16/06/2020	42
FR4	12/08/2020	43

CMB		
ID	Data	Cloreto (mg/l)
FR5	19/01/2012	30
FR5	15/03/2012	35
FR5	24/05/2012	17
FR5	19/07/2012	21
FR5	20/09/2012	46
FR5	15/11/2012	29
FR5	17/01/2013	26
FR5	14/03/2013	100
FR5	23/05/2013	130
FR5	18/07/2013	23
FR5	19/09/2013	27
FR5	14/11/2013	26
FR5	16/01/2014	33
FR5	13/03/2014	10
FR5	13/05/2014	26
FR5	29/07/2014	28
FR5	09/09/2014	36
FR5	18/11/2014	27
FR5	24/02/2015	25
FR5	21/04/2015	25
FR5	30/06/2015	25
FR5	25/08/2015	37
FR5	20/10/2015	24
FR5	29/12/2015	29
FR5	02/02/2016	25
FR5	26/04/2016	16
FR5	26/04/2017	23
FR5	20/06/2017	30
FR5	20/02/2018	29
FR5	10/05/2018	42
FR5	26/06/2018	38
FR5	21-08-2018	32
FR5	23-10-2018	33
FR5	30-10-2018	26
FR5	26-12-2018	97
FR5	26/02/2019	25
FR5	10/05/2019	43
FR5	09/07/2019	28
FR5	27/08/2019	26
FR5	29/10/2019	23
FR5	12/12/2019	22
FR5	18/02/2020	19
FR5	14/04/2020	32
FR5	30/06/2020	16
FR5	18/08/2020	15

CMB		
ID	Data	Cloreto (mg/l)
FR6	19/01/2012	24
FR6	15/03/2012	27
FR6	24/05/2012	23
FR6	19/07/2012	19
FR6	20/09/2012	46
FR6	15/11/2012	30
FR6	17/01/2013	30
FR6	23/05/2013	110
FR6	18/07/2013	24
FR6	19/09/2013	29
FR6	14/11/2013	60
FR6	16/01/2014	28
FR6	13/03/2014	32
FR6	13/05/2014	30
FR6	29/07/2014	27
FR6	16/09/2014	28
FR6	11/11/2014	29
FR6	10/02/2015	29
FR6	28/04/2015	29
FR6	09/06/2015	25
FR6	11/08/2015	29
FR6	13/10/2015	27
FR6	22/12/2015	28
FR6	23/02/2016	29
FR6	12/04/2016	36
FR6	13/04/2017	29
FR6	27/06/2017	33
FR6	02/03/2018	30
FR6	12/04/2018	35
FR6	21-08-2018	31
FR6	16/10/2018	33
FR6	26/02/2019	32
FR6	09/04/2019	33
FR6	13/08/2019	32
FR6	15/10/2019	34
FR6	27/12/2019	24
FR6	12/02/2020	21
FR6	12/05/2020	33
FR6	30/06/2020	20
FR6	25/08/2020	33

CMB		
ID	Data	Cloreto (mg/l)
FR7	20/09/2012	22
FR7	15/11/2012	22
FR7	17/01/2013	23
FR7	14/03/2013	30
FR7	23/05/2013	70
FR7	18/07/2013	70
FR7	19/09/2013	25
FR7	14/11/2013	33
FR7	16/01/2014	25
FR7	29/07/2014	30
FR7	30/09/2014	19
FR7	25/11/2014	27
FR7	24/02/2015	24
FR7	21/04/2015	25
FR7	30/06/2015	24
FR7	11/08/2015	25
FR7	20/10/2015	23
FR7	29/12/2015	31
FR7	02/02/2016	24
FR7	19/04/2016	19
FR7	26/04/2017	23
FR7	20/06/2017	25
FR7	20/02/2018	25
FR7	10/05/2018	42
FR7	26/06/2018	34
FR7	28/08/2018	30
FR7	23/10/2018	28
FR7	26/12/2018	30
FR7	26/02/2019	26
FR7	10/05/2019	40
FR7	09/07/2019	26
FR7	27/08/2019	23
FR7	29/10/2019	22
FR7	12/12/2019	21
FR7	18/02/2020	13
FR7	30/06/2020	20
FR7	18/08/2020	33

CMB		
ID	Data	Cloreto (mg/l)
FR8	19/01/2012	26
FR8	15/03/2012	33
FR8	24/05/2012	29
FR8	19/07/2012	20
FR8	20/09/2012	33
FR8	15/11/2012	34
FR8	17/01/2013	33
FR8	14/03/2013	29
FR8	23/05/2013	46
FR8	18/07/2013	28
FR8	19/09/2013	32
FR8	14/11/2013	27
FR8	16/01/2014	32
FR8	13/03/2014	35
FR8	27/05/2014	3
FR8	15/07/2014	29
FR8	16/09/2014	27
FR8	11/11/2014	31
FR8	24/02/2015	34
FR8	14/04/2015	32
FR8	23/06/2015	33
FR8	11/08/2015	30
FR8	06/10/2015	30
FR8	09/12/2015	25
FR8	23/02/2016	32
FR8	12/04/2016	37
FR8	13/04/2017	69
FR8	27/06/2017	35
FR8	15/02/2018	35
FR8	24/04/2018	40
FR8	26/06/2018	34
FR8	21-08-2018	38
FR8	16-10-2018	34
FR8	18-12-2018	130
FR8	14/02/2019	34
FR8	09/04/2019	33
FR8	27/08/2019	39
FR8	15/10/2019	32
FR8	12/12/2019	50
FR8	12/02/2020	55
FR8	14/04/2020	37
FR8	16/06/2020	35
FR8	12/08/2020	38

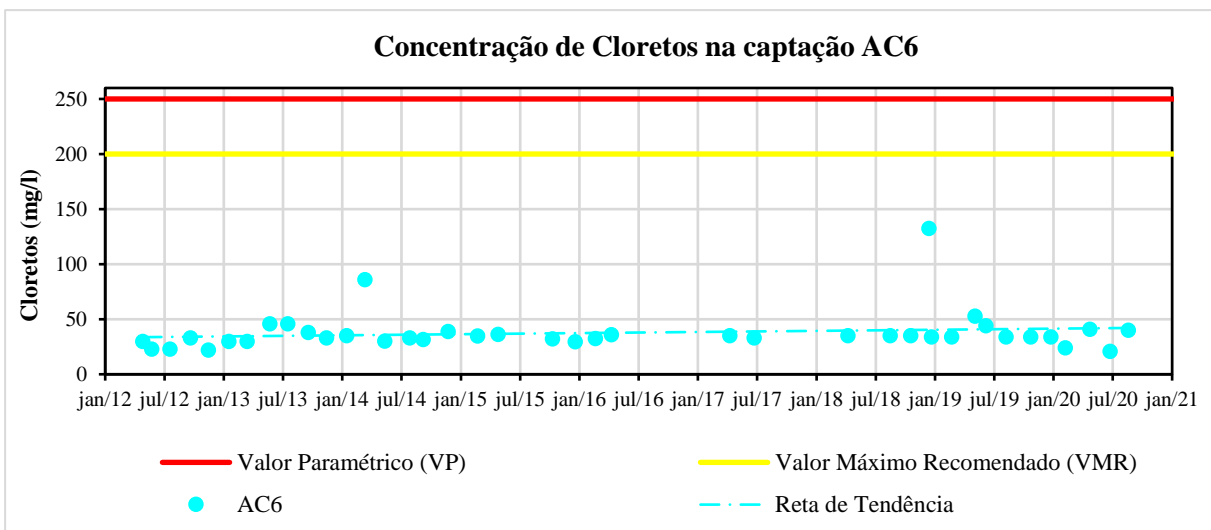
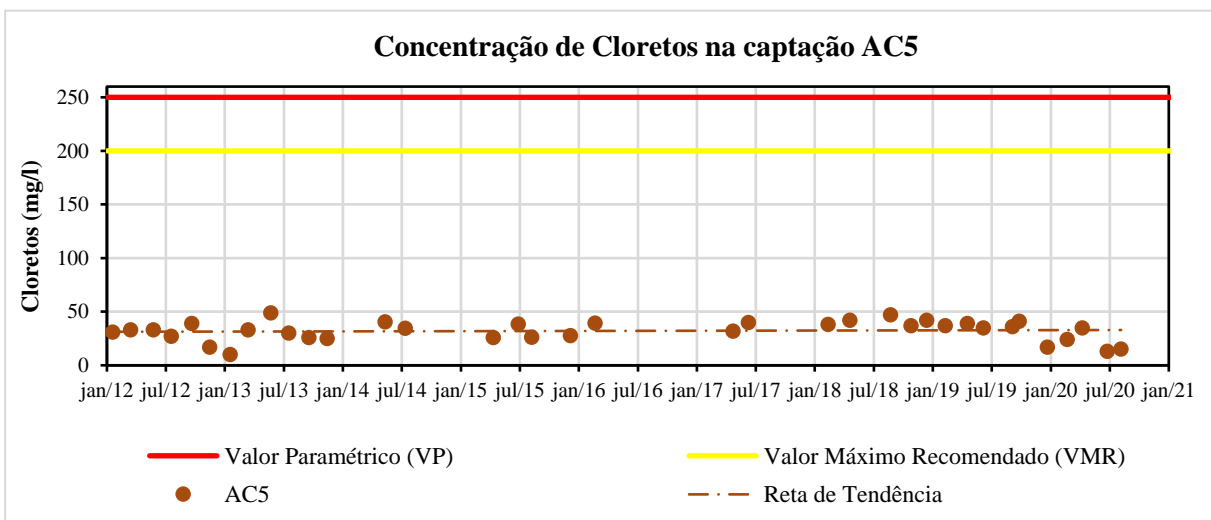
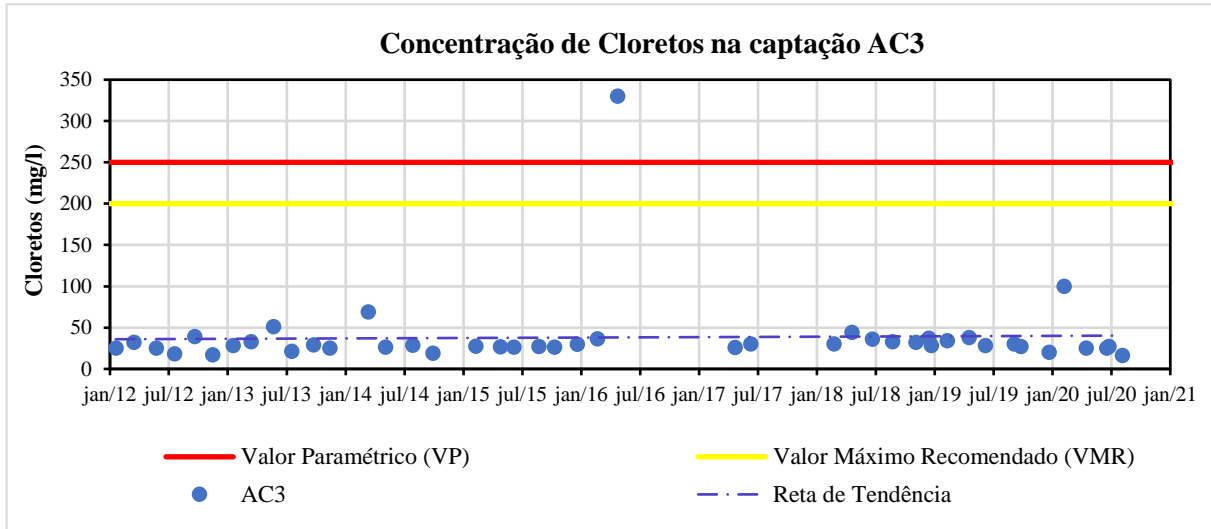
CMB		
ID	Data	Cloreto (mg/l)
RA1	18/07/2013	91
RA1	19/09/2013	140
RA1	14/11/2013	140
RA1	16/01/2014	49
RA1	13/03/2014	44
RA1	27/05/2014	38
RA1	29/07/2014	38
RA1	09/09/2014	34
RA1	11/11/2014	58
RA1	10/02/2015	76
RA1	14/04/2015	53
RA1	09/06/2015	54
RA1	11/08/2015	44
RA1	27/10/2015	33
RA1	22/12/2015	33
RA1	23/02/2016	38
RA1	26/04/2016	43
RA1	13/04/2017	37
RA1	13/06/2017	35
RA1	15/02/2018	30
RA1	12/04/2018	35
RA1	12/06/2018	38
RA1	21-08-2018	33
RA1	16-10-2018	35
RA1	30-10-2018	32
RA1	18-12-2018	35
RA1	26/02/2019	30
RA1	09/04/2019	33
RA1	12/06/2019	8
RA1	13/08/2019	34
RA1	15/10/2019	65
RA1	30/12/2019	26
RA1	12/02/2020	38
RA1	12/05/2020	35
RA1	16/06/2020	38
RA1	25/08/2020	33

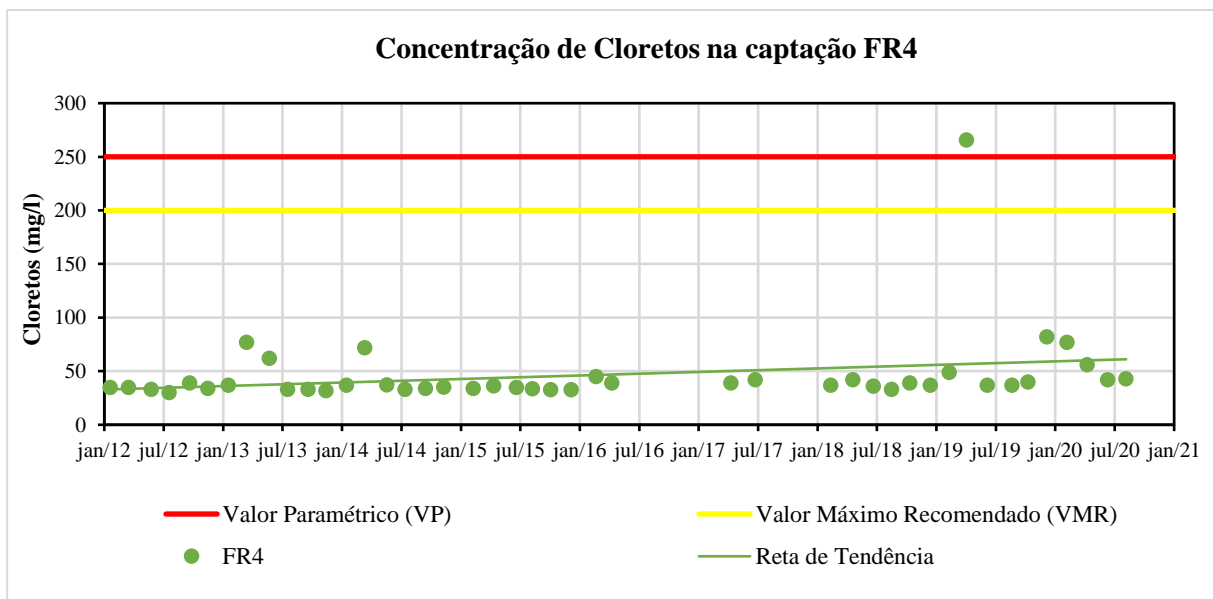
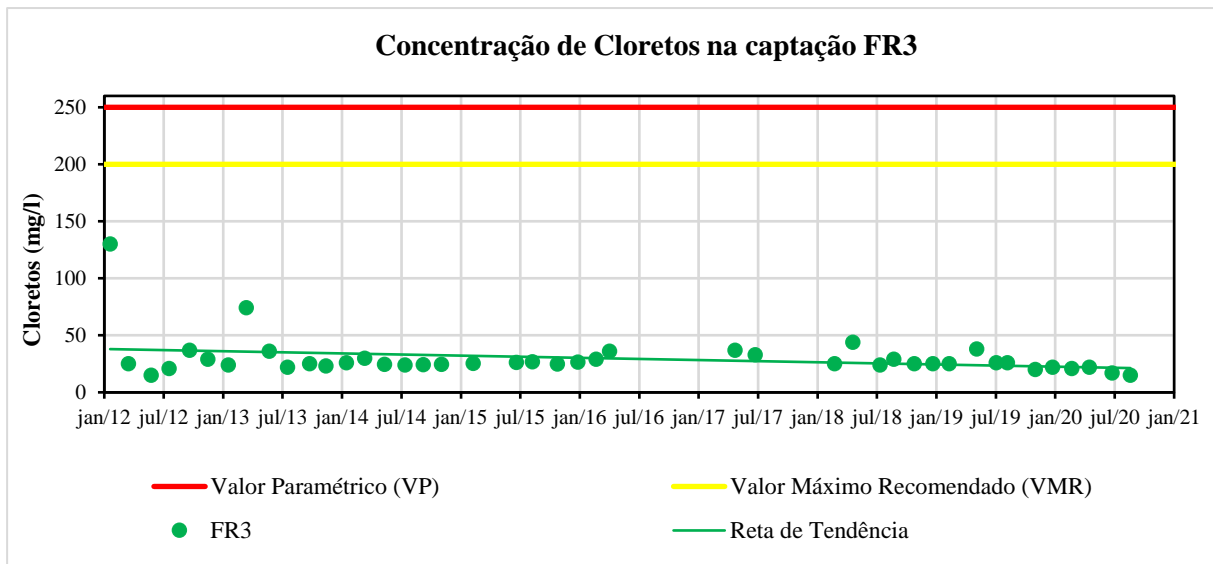
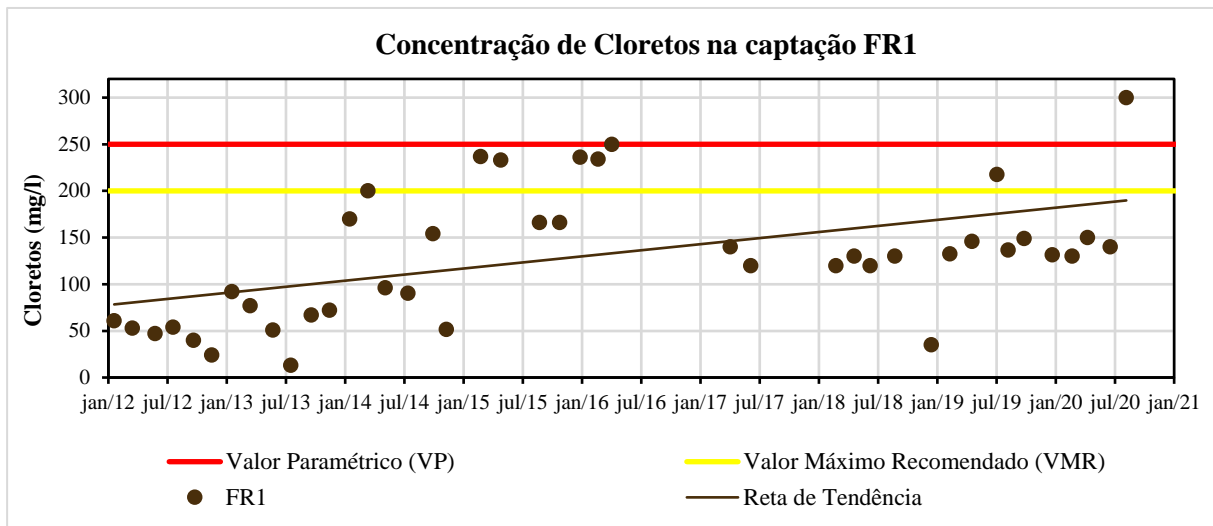
CMB		
ID	Data	Cloreto (mg/l)
RA2	09/11/2018	30
RA2	26/12/2018	25
RA2	26/02/2019	26
RA2	23/04/2019	40
RA2	09/07/2019	26
RA2	13/08/2019	25
RA2	29/10/2019	22
RA2	30/12/2019	20
RA2	27/02/2020	20
RA2	28/04/2020	22
RA2	25/08/2020	15

Parque Empresarial Baía do Tejo		
ID	Data	Cloreto (mg/l)
F12	21/09/2018	56
F12	11/09/2019	55
F12	17/09/2020	69
F10	10/10/2018	28
F10	11/10/2019	30
F10	27/03/2019	30
F5	14/11/2018	42
F5	22/02/2019	42
F5	13/11/2019	44
F5	12/02/2020	43
F5	15/04/2020	49
F5	12/08/2020	50
F7	13/05/2020	70
F7	30/10/2020	74

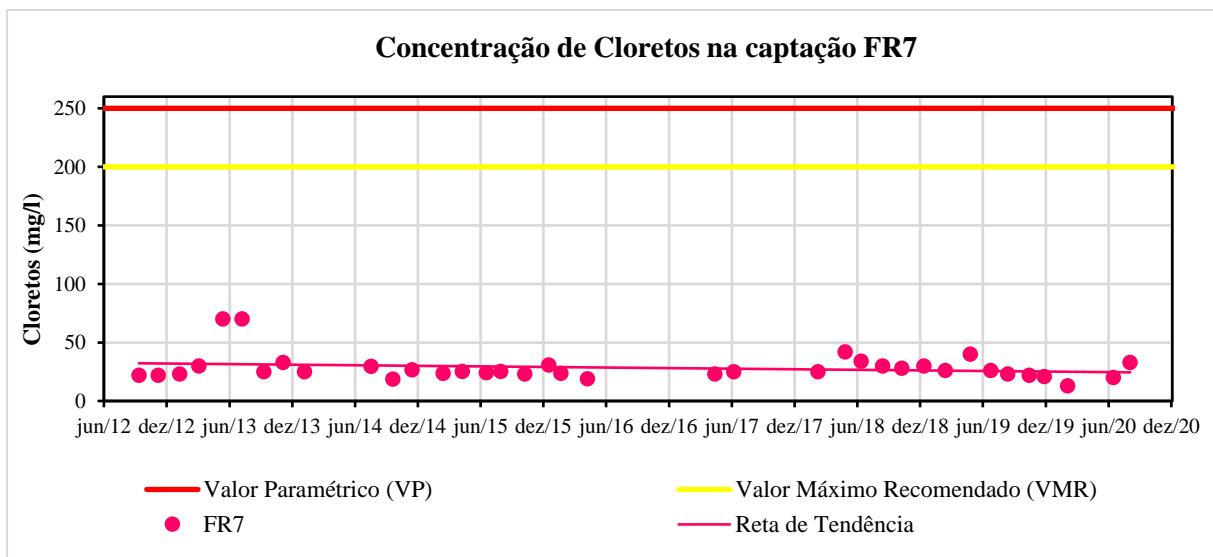
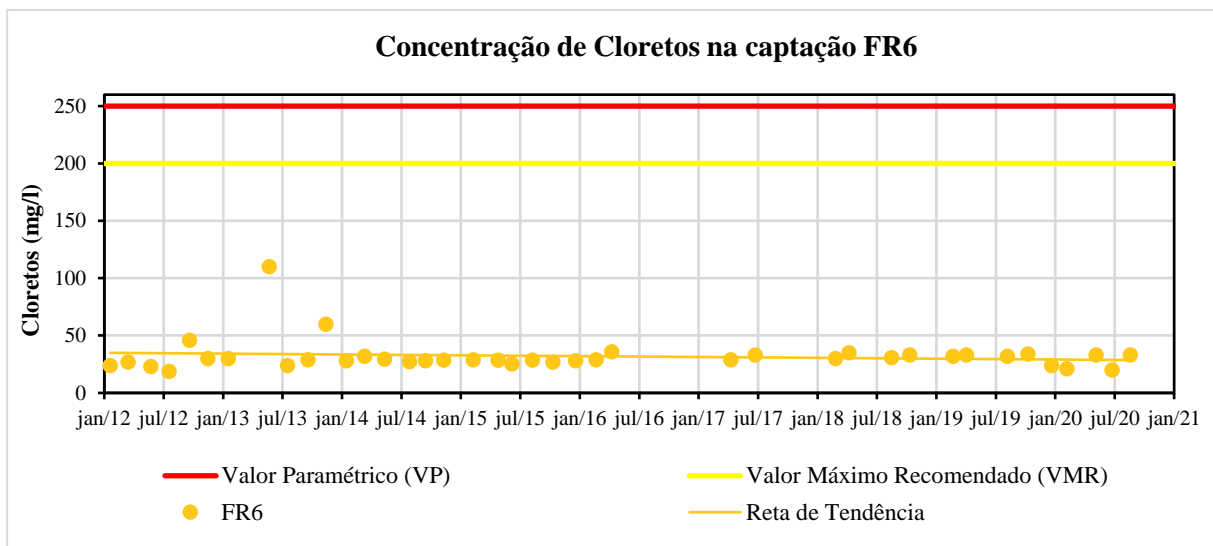
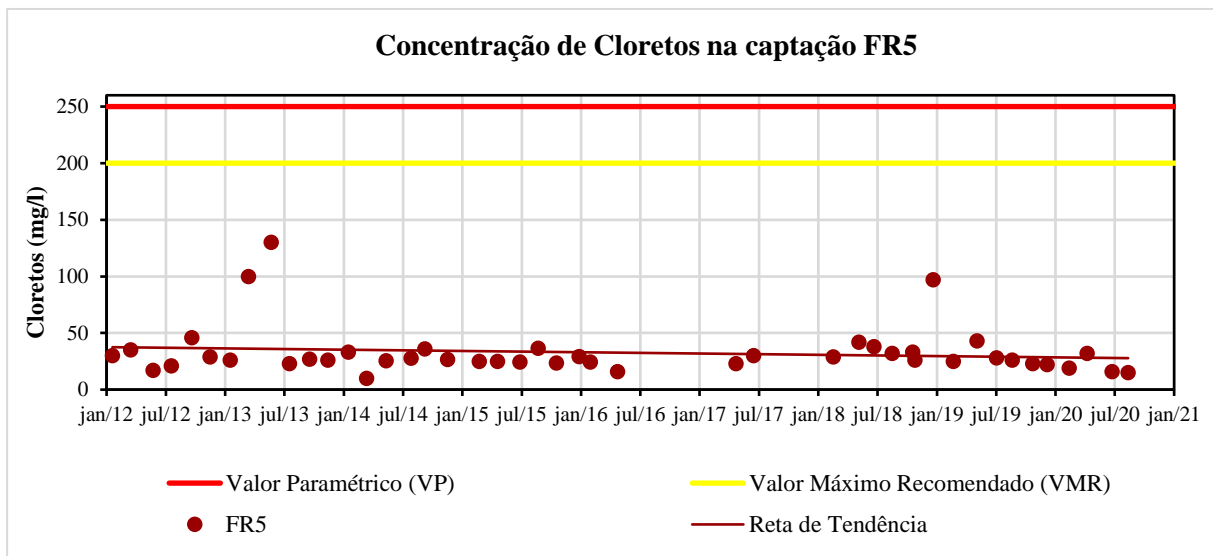
## ANEXO 5

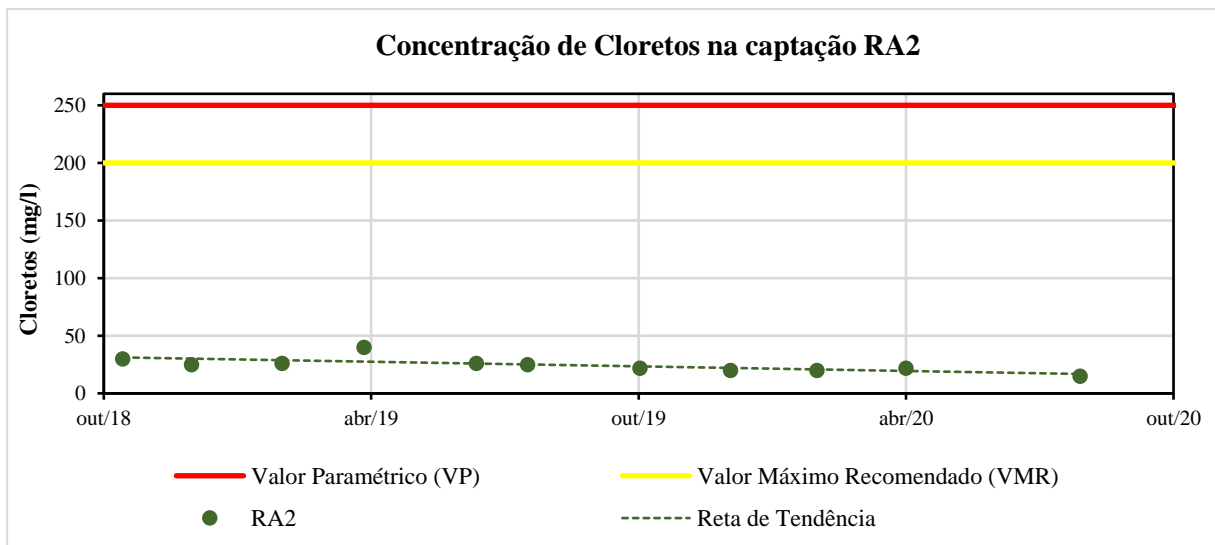
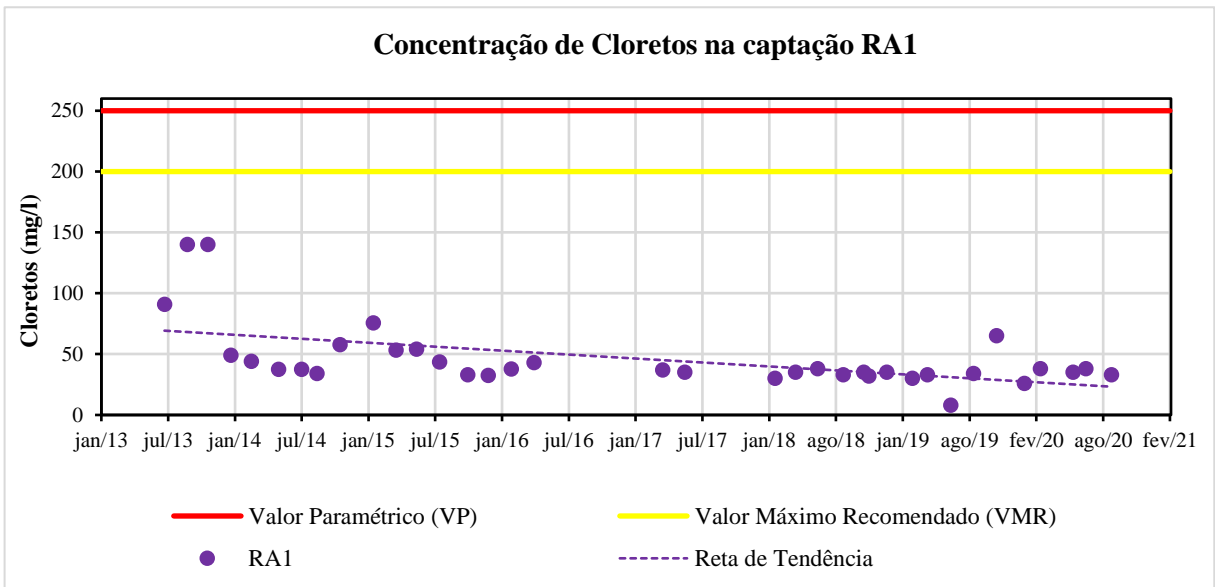
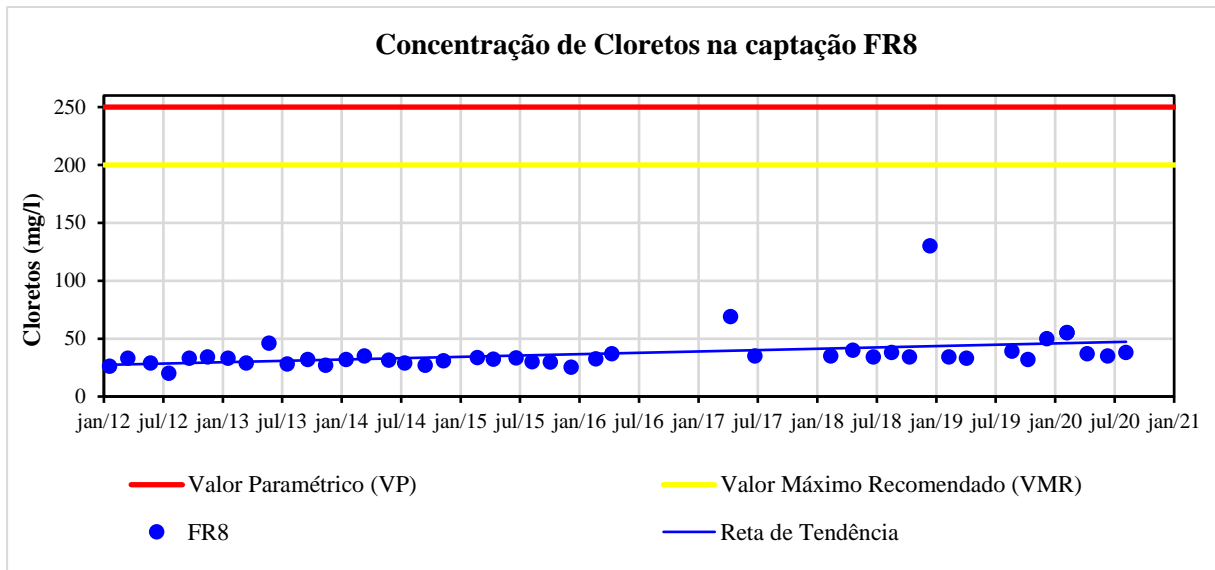
Evolução da concentração de cloreto nas captações de água subterrânea para abastecimento público da Câmara Municipal do Barreiro, no período compreendido entre janeiro de 2012 e agosto de 2020.



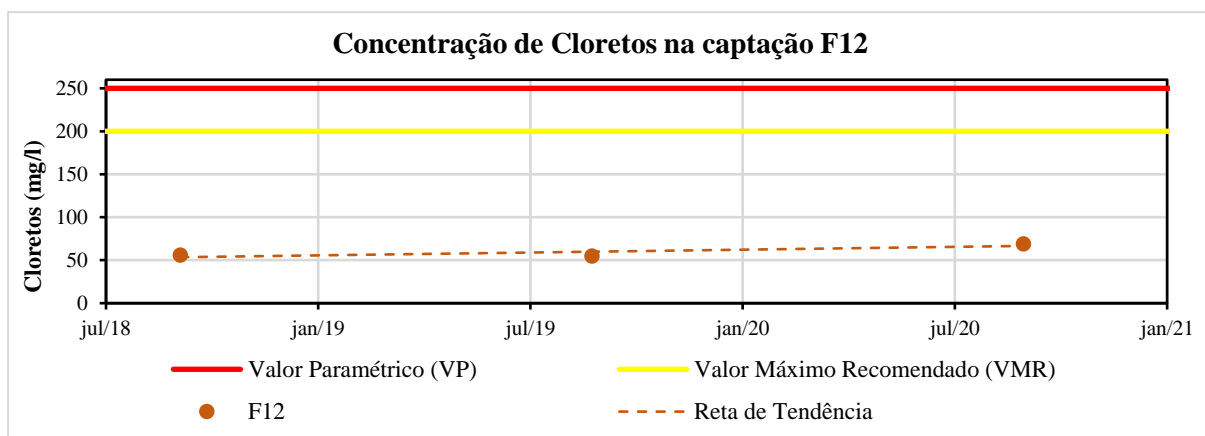
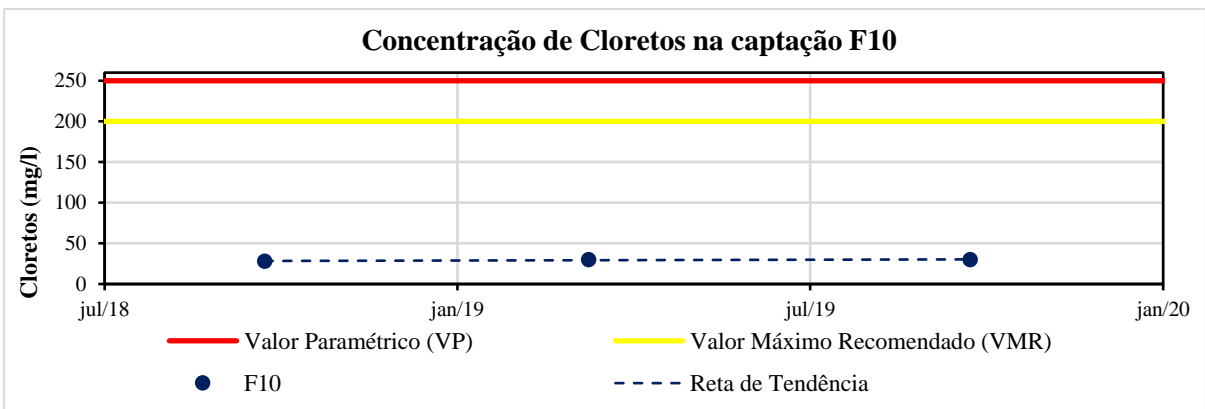
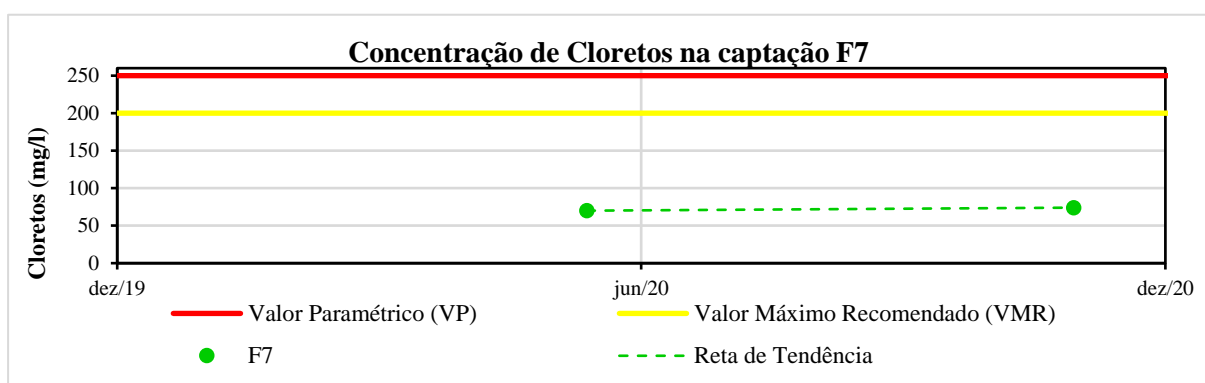
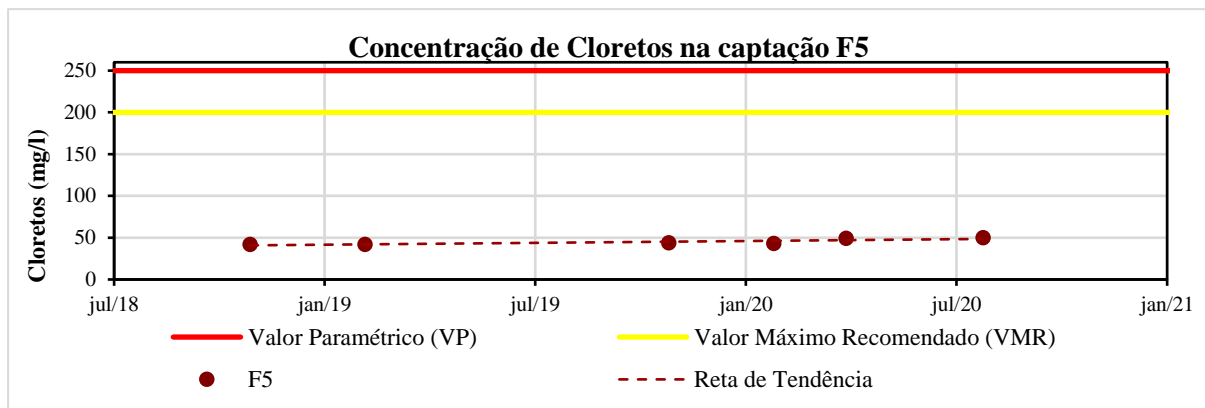






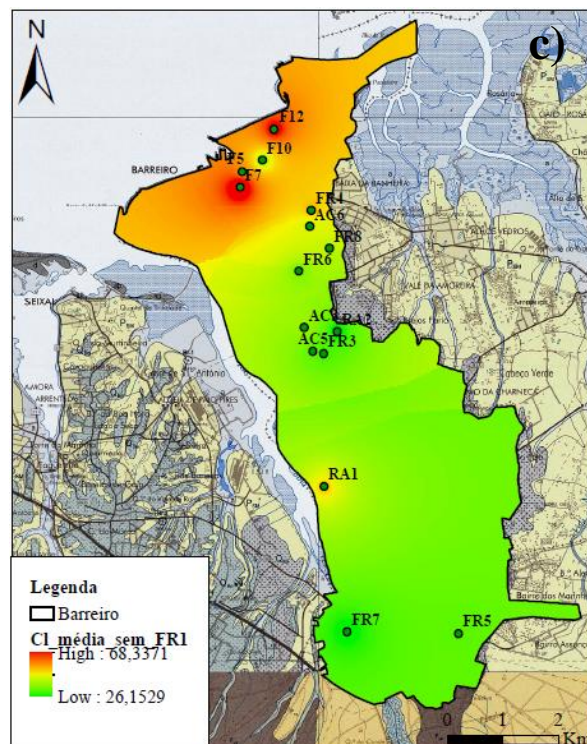
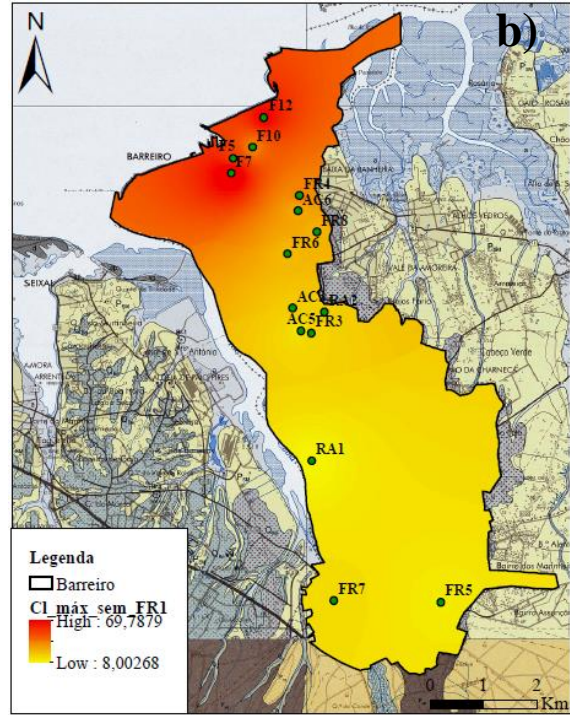
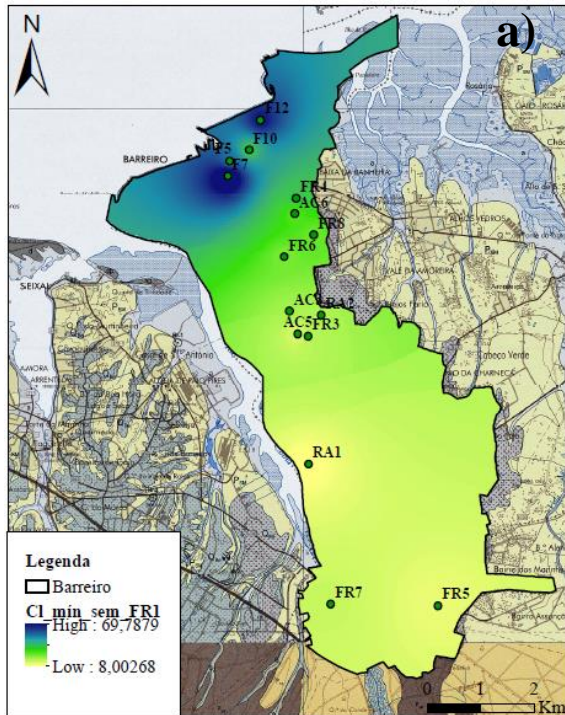


Evolução da concentração de cloreto nas captações de água subterrânea para abastecimento público do Parque Empresarial Baía do Tejo, no período compreendido entre setembro de 2018 e outubro de 2020.

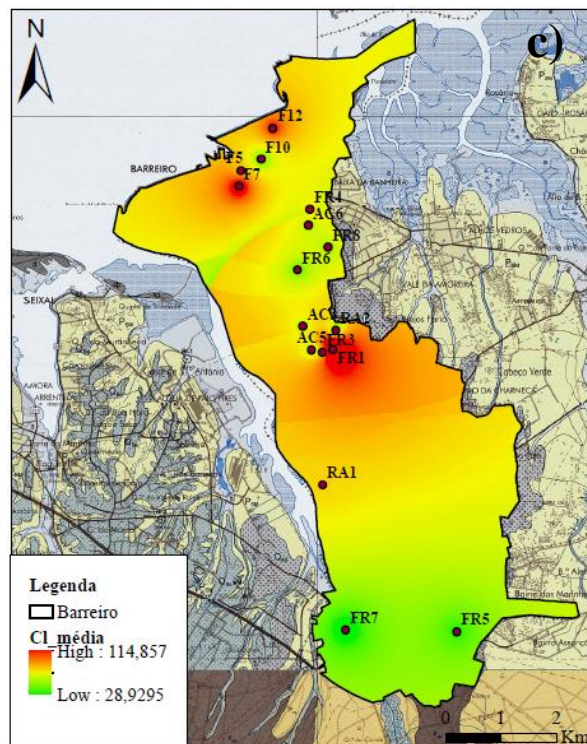
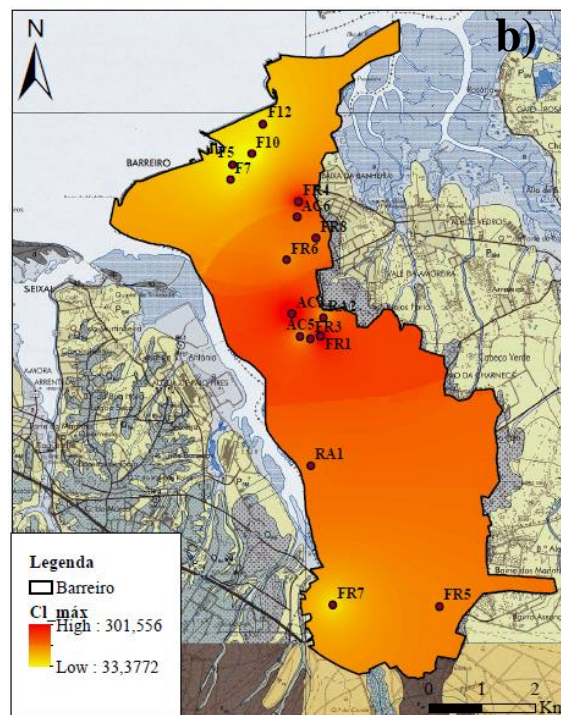
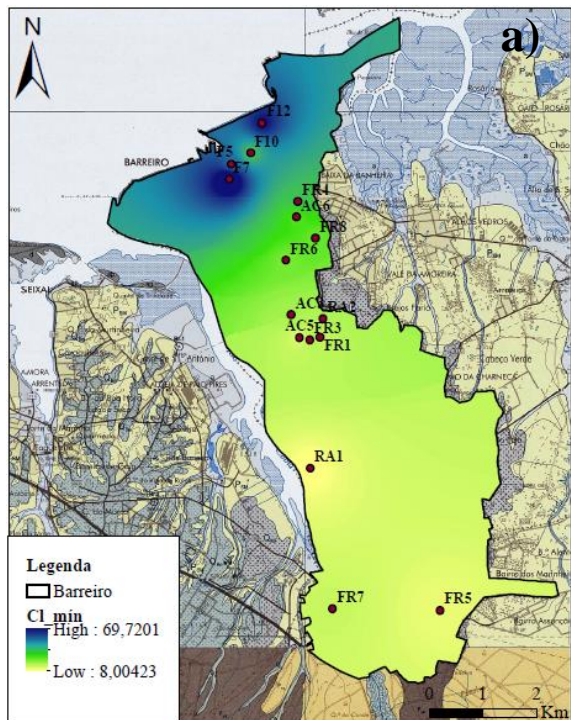


## Anexo 6

Distribuição espacial da concentração de cloreto ( $\text{mg/l}$ ) mínima (a), máxima (b) e média (c) na região abrangida pelo município do Barreiro. Interpolação da concentração de cloreto pelo método Inverso da Distância, com software ArcGIS 10.7.1., desprezando os valores observados na captação FR1 com intrusão salina.

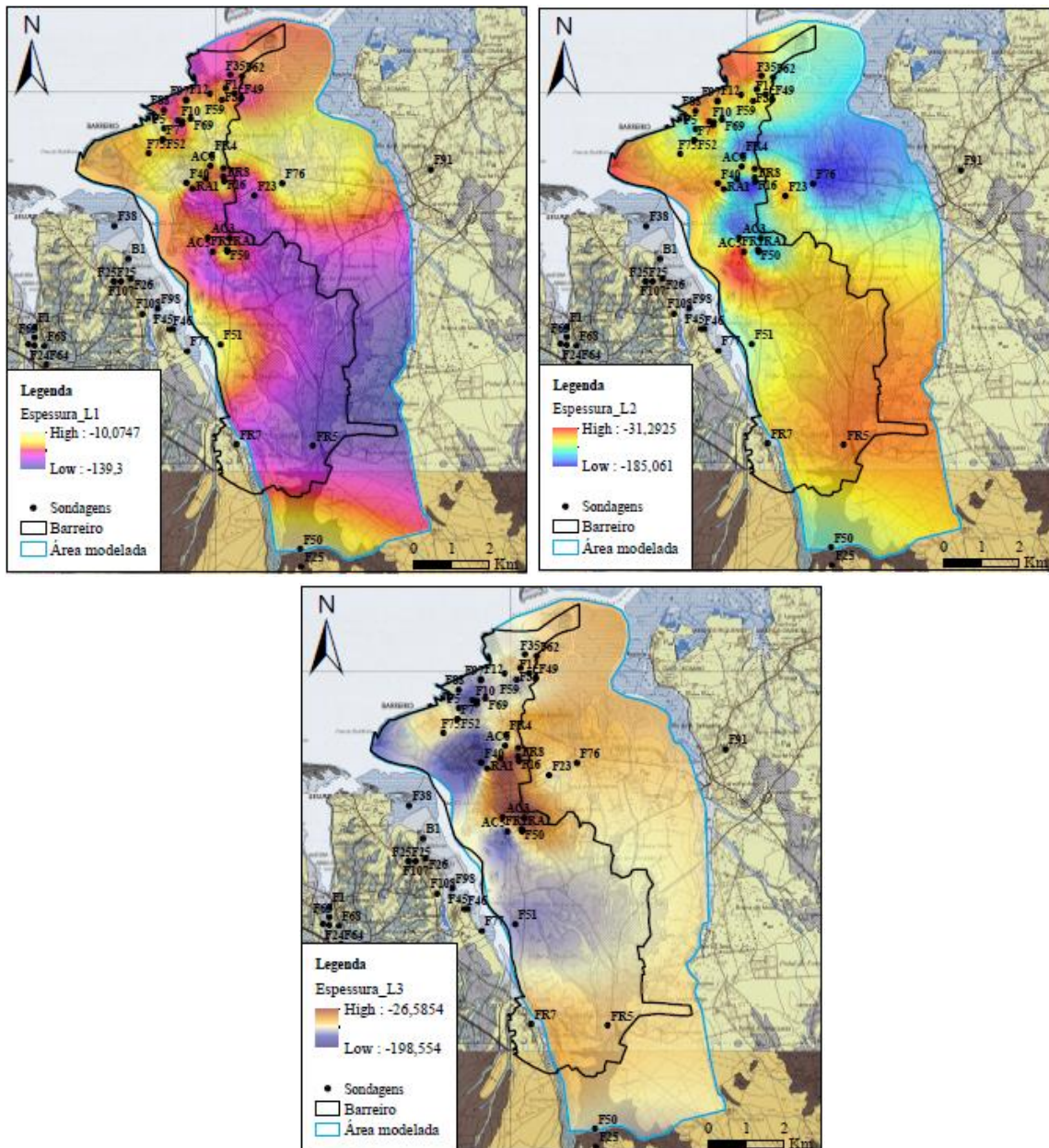


Distribuição espacial da concentração de cloreto (mg/l) mínima (a), máxima (b) e média (c) na região abrangida pelo município do Barreiro. Interpolação da concentração de cloreto pelo método Inverso da Distância, com software ArcGIS 10.7.1., e considerando os valores observados na captação FR1 com intrusão salina.



## ANEXO 7

Espessura das unidades hidrogeológicas na área de estudo obtidas por interpolação pelo método Inverso da Distância, com o software ArcGIS 10.7.1, a partir da interpretação de logs de sondagens de pesquisa e captação de água subterrânea, em que, L1 representa o aquífero superior livre, o L2 o aquífero confinado, e o L3 o aquífero semiconfinado.



---

## ANEXO 8

Níveis hidrodinâmicos dos furos de captação de água da CMB e do Parque Empresarial da Baía do Tejo que constam dos relatórios de pesquisa e captação de água e os valores simulados pelo modelo de fluxo subterrâneo proposto para a área de estudo.

Entidade	ID	NHD dos furos de captação (m)	NHD simulados pelo modelo de fluxo proposto (m)
CMB	FR4	-44,8	-47,72
	FR8	-36,9	-42,57
	AC6	-73,7	-58,78
	RA1	-46,3	-47,07
	FR6	-51,2	-41,03
	AC3	-42,2	-40,89
	AC5	-25	-32,37
	FR1	-37	-37,01
	FR3	-41,85	-33,73
	RA2	-41,9	-35,56
	FR5	-21,2	-20,13
	Parque Empresarial Baía do Tejo	F5	-26,6
F7		-31	-23,81
F12		-22	-24,41